

(一般)日本原子力学会・シニアネットワーク連絡会 (SNW)

対話 in 鹿児島大 2025

大学院・理工学研究科・工学専攻
機械工学プログラム

古藤 健司 (元九州大学)、山崎 智英 (西技開・元九電)、松永 健一 (元三菱重工)、
大西 祥作 (元三菱重工・高専)、石隈 和雄 (元原電)、針山 日出夫 (元三菱重工)

追記) 対話会活動はこれに協賛する電気事業連合会、一般社団法人日本電機工業会等から旅費等の実費支援を受けて行う日本原子力学会シニアネットワーク連絡会のボランティア活動です。

原子力発電について

～固有安全性、燃料サイクル・廃棄物処理処分、 核融合開発の現状と展望～

— 鹿児島大大学院・理工学研究科・工学専攻 —
機械工学プログラム

日本原子力学会SNW対話会への基調講演（1）

2025年7月10日（木）

工学部共通棟202番講義室

日本原子力学会シニアネットワーク連絡会（SNW）

古藤 健司

プロフィール

古藤 健司 工学博士（九大）

1949年8月30日生

日本原子力学会フェロー

日本原子力学会・SNW連絡会運営委員
同上SNW九州副会長

日頃はテニス三昧
の日々を楽しんで
います！

（元）九州大学大学院

（所属）工学研究院エネルギー量子工学部門

（担当）工学府エネルギー量子工学専攻

（併任）工学部エネルギー科学科

（兼務）工学研究院附属環境システム科学研究センター

（兼務）大学本部環境安全推進室エネルギー資源管理部門

その他

（元）企業・技術顧問

学部担当講義

- ・ エネルギー環境論（B.2-3）
- ・ 原子力/原子炉工学概論（B.4）
- ・ 核融合概論（B.4）

工学府担当講義

- ・ 原子炉システム工学 I・II
- ・ 原子力化学工学
- ・ 核融合基礎工学
- ・ 原子炉物理学特論および実験（京大炉）
- ・ 核エネルギーシステム学論究 A（D.C）

環境システム工学専攻

- ・ Microscopic Aspects of Energy
Science and Engineering（Int.C）

再生可能エネルギーとは自然エネルギー！

自然エネルギーとは太陽エネルギー！

太陽エネルギーとは？

<講演の内容>

- 原子力発電の仕組み：固有の安全性（自己制御性）
- 核燃料サイクル：ウラン資源(プルトニウム)の有効利用
- 高レベル放射性廃棄物：深地下岩盤への埋設処分の科学的安全性
- ◎ トピックス：福島原発の処理水の海洋放出／トリチウム問題
- 核融合炉開発の現状と展望

原子力発電は安全か？安心できるか？

原子力発電のメリットについては、大方の人々が「安価な電気料金」という恩恵をもって認知されていると思います（福島第一原発事故の後処理・補償・地域復興事業への膨大な資金投入は別にして）。しかしながら、原子力については「原爆・水爆」の途轍もない破壊力の脅威への先入観があり「原子力発電は危険なものだ」との認識が根底にあるのが一般的だと思います。ですから、経済的であっても「安全で環境に負荷が掛からない発電システム」でなければ原子力発電を安心して受け入れることはできないでしょう。

原子力発電を正しく理解しなければ“安全”であるかわかりませんし“安心”は生まれません。

原子力発電には安全性を担保する原理・仕組みがあります：

- 受動的制御性： 制御棒駆動装置や冷却水循環・供給装置など
- 能動的制御性： 熱中性子吸収核分裂反応の自己制御性

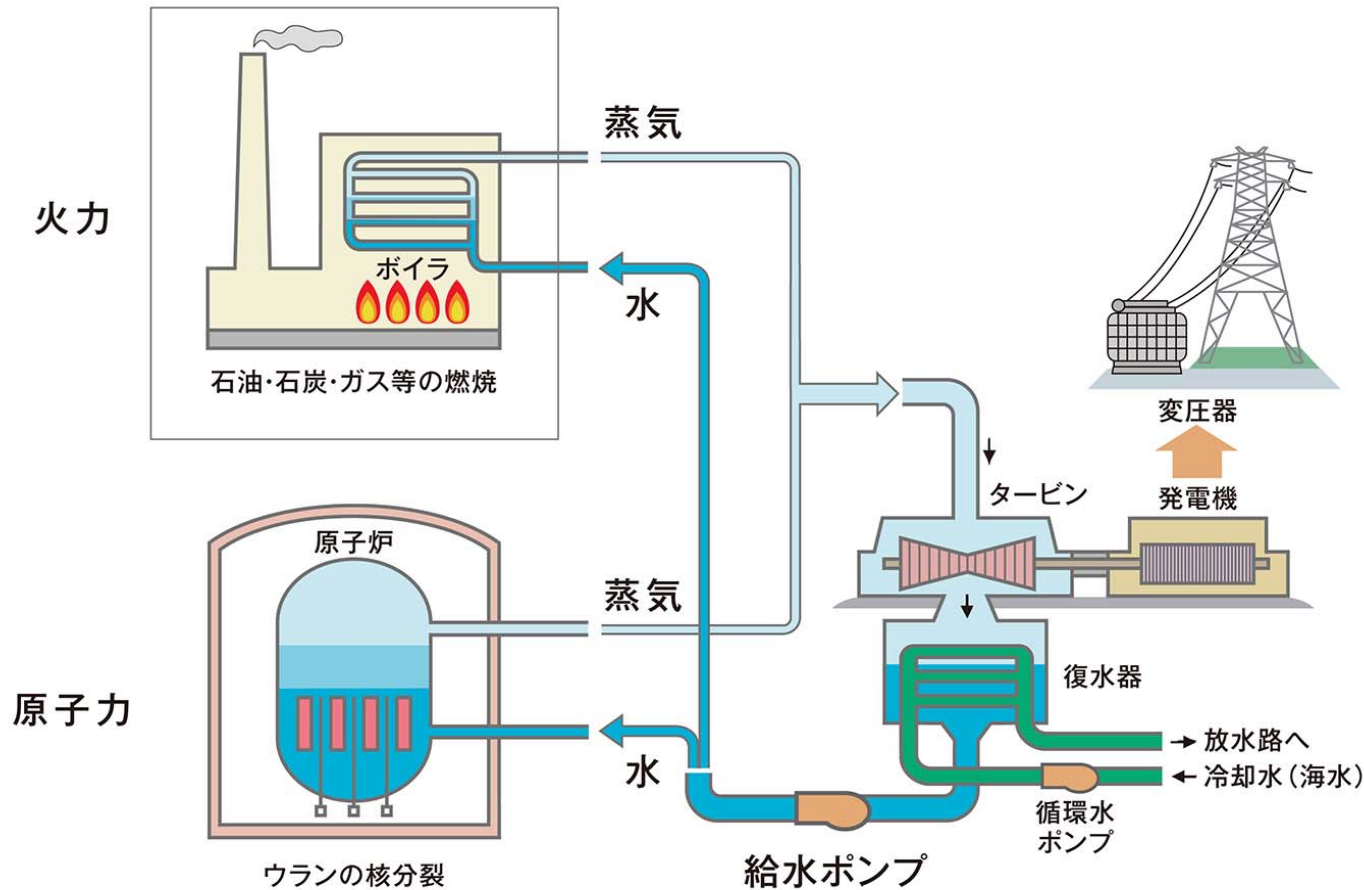
原子炉の固有の安全性

原子力発電と原子爆弾の違い

	ウラン235とウラン238の割合と核分裂連鎖反応	核分裂数の制御の方法
原子力発電の場合	<p>天然ウラン: U-235 (0.7%)</p> <p>ウラン235 (3~5%) ウラン238 (95~97%)</p> <p>ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する</p> <p>1回目 2回目 3回目</p>	<p>核爆発は起こりえません!</p> <p>制御棒が多数設置されており、また自己制御性があるため急激に核分裂数が増加することはない</p> <p>ウラン濃縮技術が必要</p> <p>フッ化水素が不可欠!</p> <p>韓国の横流し疑惑!?</p>
原子爆弾の場合	<p>火薬</p> <p>ウラン235 (ほぼ100%)</p> <p>ウラン235の割合がほぼ100%と高いため、中性子が他の物質に吸収されず、核分裂が次々に起こり、一瞬のうちに爆発的なエネルギーが放出される</p> <p>1回目 2回目 3回目</p>	<p>圧縮閉込め技術がなければ爆弾にはなりません!</p> <p>制御棒が設置されておらず、自己制御性がないため、急激に増加する核分裂を止めることはできない</p> <p>プルトニウム型原爆は プルトニウム239(ほぼ100%)</p> <p>商用原発の使用済燃料からのプルトニウムは爆薬にはならない(低純度)</p> <p>どのようにして生産するの?</p>

ウォッカやブランディーはマッチで火が付きますが、
ワインやビールには火が付きません !!

火力発電と原子力発電の違い



火力発電は“瞬間湯沸型”

耐高圧構造なので臨界圧を超える高温・高圧で運転可能。
(超)超臨界圧石炭火力発電(600°C以上225気圧以上)で熱効率が約45%

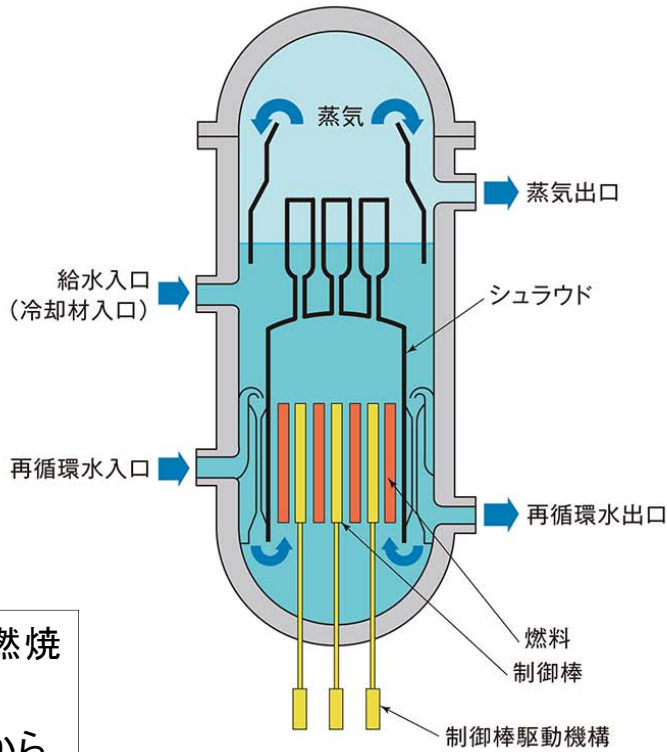
原子力発電は“投込ヒーター型”

大口径の圧力容器が必要。
PWR型1次系(320°C160気圧)
2次系(277°C62気圧)
BWR型(280°C70気圧)
熱効率が32%程度

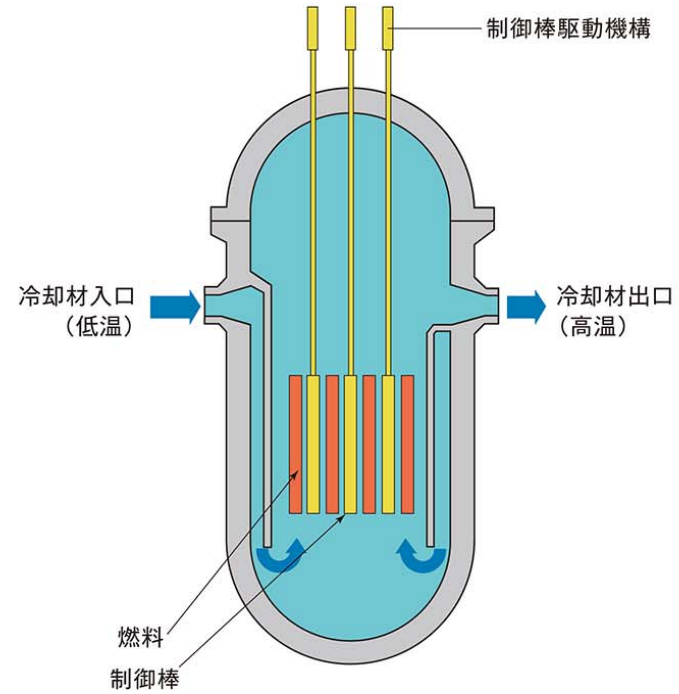
高温ガス炉や高速増殖炉
の開発が必要

原子炉压力容器断面図

沸騰水型原子炉 (BWR)



加圧水型原子炉 (PWR)

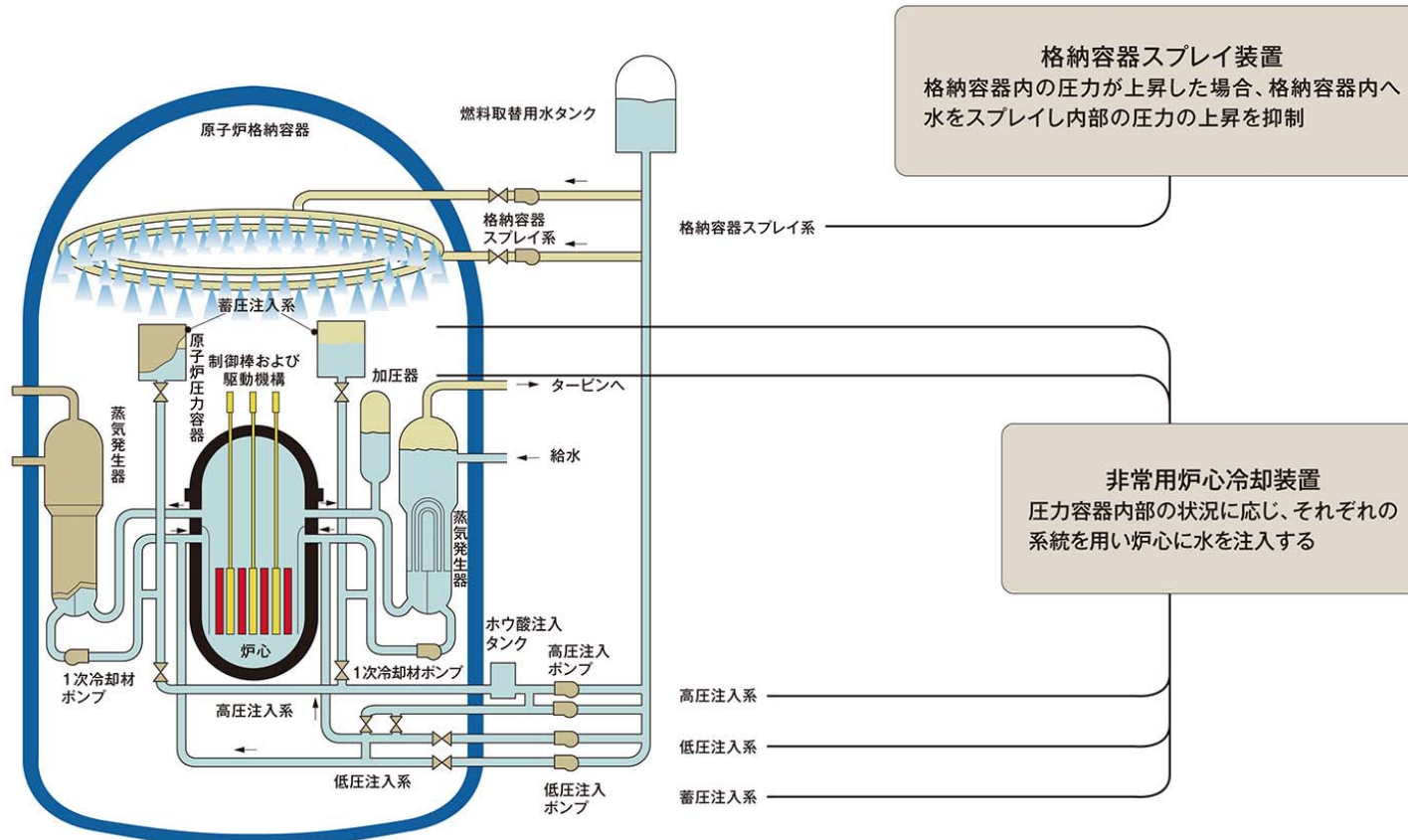


気液二相による燃焼分布の問題と炉内構造の問題から

制御棒は炉底からのジャンプアップ式

制御棒は重力落下式

非常用炉心冷却装置等の例 (PWR)



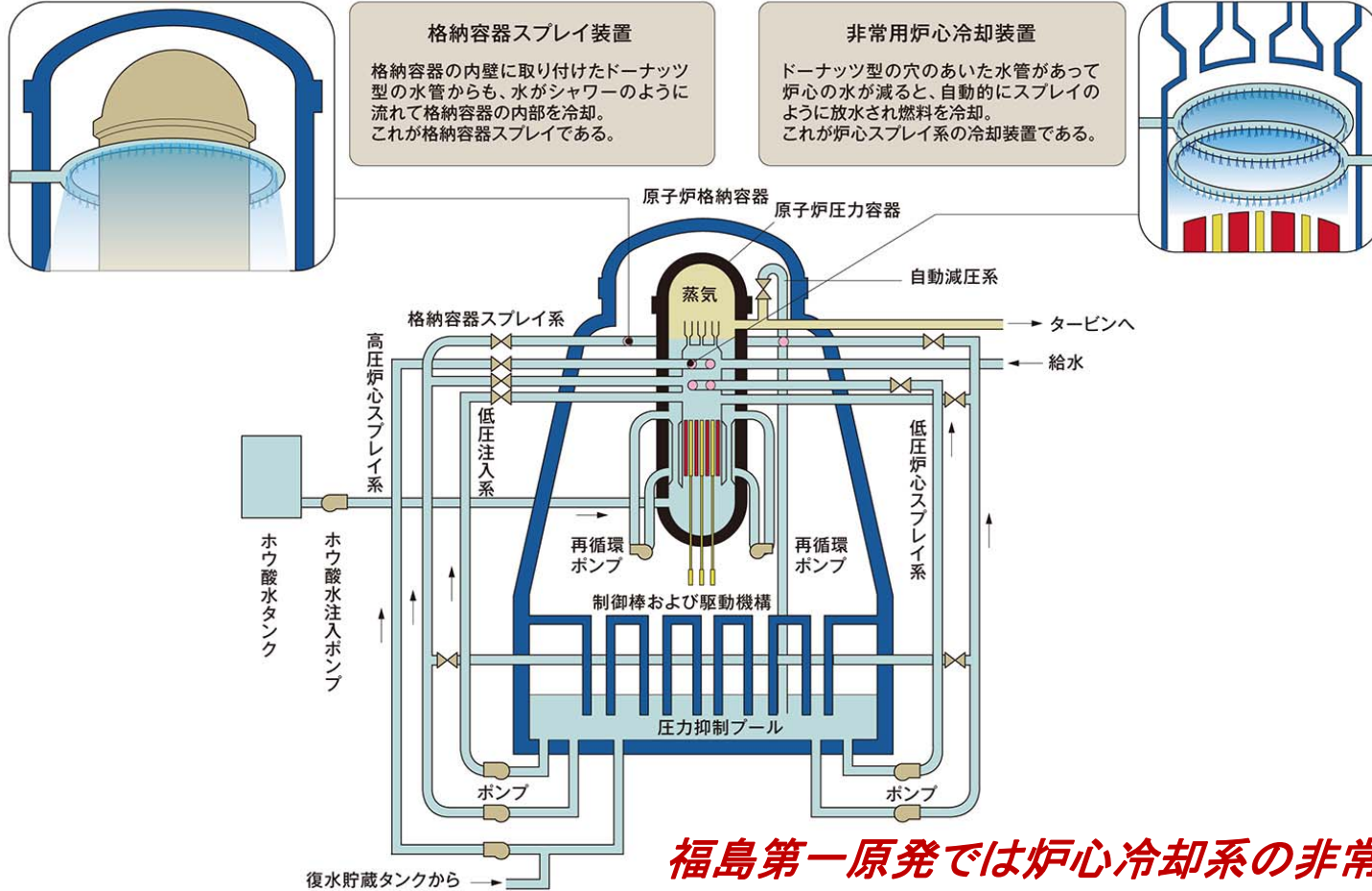
原子炉の炉心は核分裂反応が終わっても核変換反応が継続して起こっていますので崩壊熱が発生しています。従って、水で冷やし続けなければいけません！



多重の非常用炉心冷却系が組み込まれています。

受動的制御装置

非常用炉心冷却装置等の例 (BWR)



格納容器スプレイ装置
格納容器の内壁に取り付けたドーナツ型の水管からも、水がシャワーのように流れて格納容器の内部を冷却。これが格納容器スプレイである。

非常用炉心冷却装置
ドーナツ型の穴のあいた水管があって炉心の水が減ると、自動的にスプレイのように放水され燃料を冷却。これが炉心スプレイ系の冷却装置である。

原子炉の炉心は核分裂反応が終わっても核変換反応が継続して起こっていますので崩壊熱が発生しています。従って、水で冷やし続けなければいけません！



多重の非常用炉心冷却系が組み込まれています。

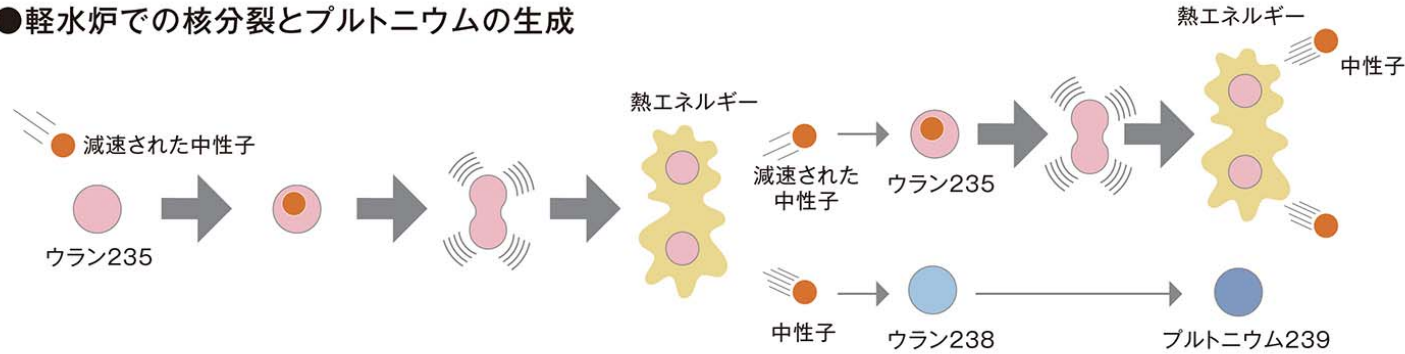
受動的制御装置

福島第一原発では炉心冷却系の非常用電源を喪失してしまった！

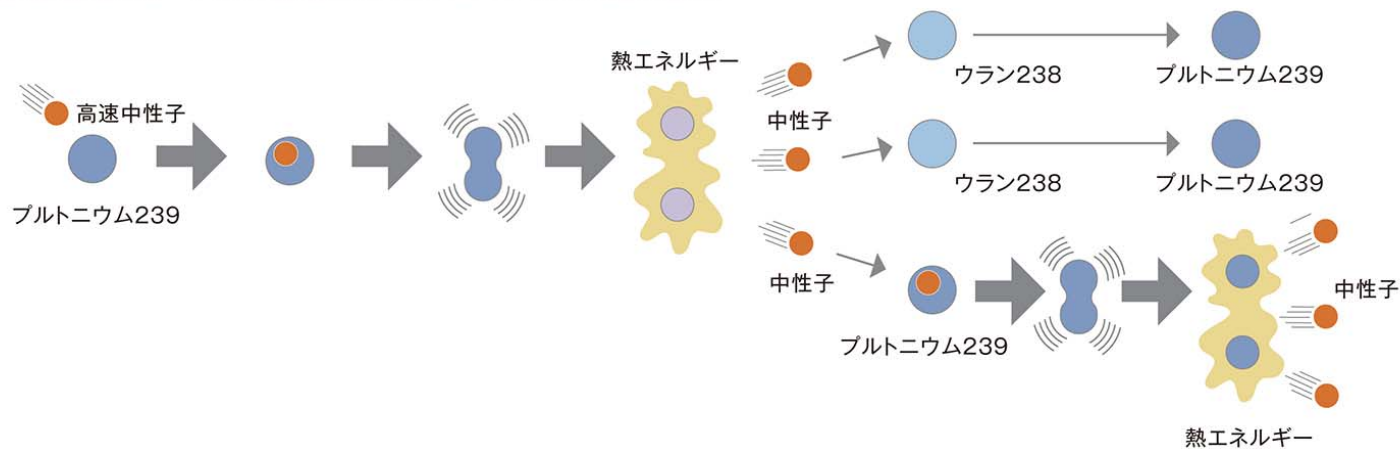
地震には耐えたが 想定外？ の津波！

ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂

●軽水炉での核分裂とプルトニウムの生成



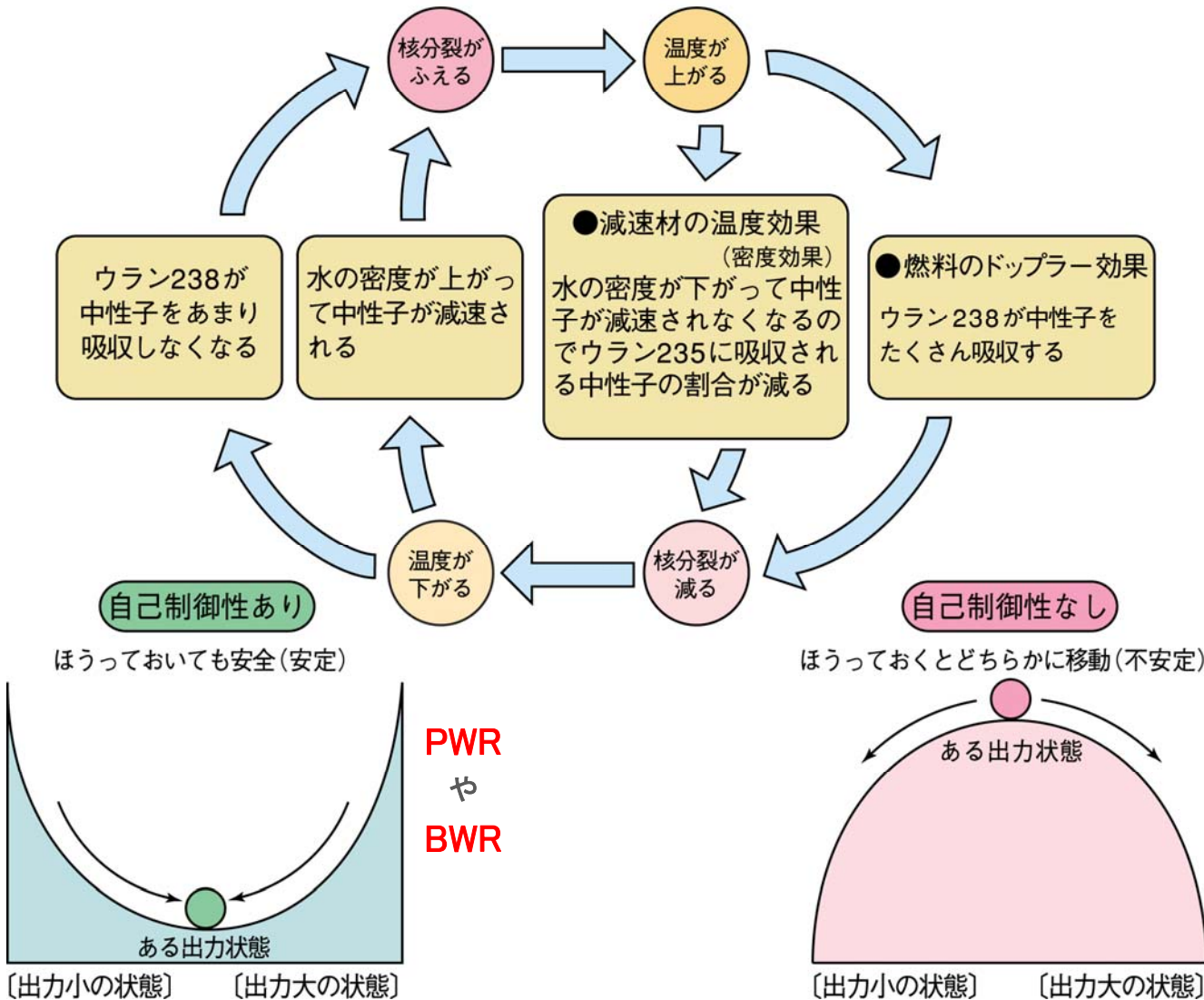
●高速増殖炉での核分裂とプルトニウムの生成(増殖)



核分裂によって2~3個の即発中性子が放出されますが、1秒から数10秒遅れて核分裂片の崩壊によっても中性子が放出されます：**遅発中性子**。その割合は**0.72%**です。

原子炉の中では、この遅発中性子を含めて臨界が保たれています。従って、**核分裂連鎖反応がゆっくりと進行していきます。**

原子炉の固有の安全性(自己制御性)



軽水炉は核分裂性ウラン235の中性子吸収が減速された中性子に対して反応しやすくなります。

減速材の温度効果とは
水温が上がると密度が減少し(あるいはボイド率が上昇)中性子の減速が低下する。

燃料のドップラー効果とは
熱中性子とウランとの衝突吸収反応は両者の相対速度に依存します。温度が上がれば燃料のウランの熱振動が活発になり、中性子との相対速度の分布が広がります。ということは、中性子の共鳴吸収される確率が増すこととなります。

自己制御性とは“起き上がり小法師”や“弥次郎兵衛”の原理

ここで質問

旅客機の主翼はV字型になっています。進路を安定化するためですね(自己制御性)。

しかし、ゼロ戦はVですが、最近の戦闘機などの軍用機の主翼はΛ字になっています。どうしてですか？

皆さん安心して乗っておられますが、電車にはハンドルがありませんよね。 <そら線路があるからでしょう！>

電車の車輪は一体物で右輪と左輪は同じ回転をしますが、どうやってカーブを曲がるんですか？

理工系の皆さんは当然の常識ですが、お母さんやお姉さん、妹さんに聞いてみてごらん下さい！

<ドゲンして曲がるっちゃろかい?? キィキィ言いながら曲がるんやろかい?> 安心????かあ?!

新幹線も同じです。300 km/hでカーブどうやってスムーズに曲がっているのですか？

左右の車輪は同じ回転をしていますよね？

キィキィ言いながら曲がっているのなら、いつ脱線するやら！危険・不安!!????

電車は線路上で自己制御性によって安全に走行しています。

安心

鉄道の固有の安全性



安心

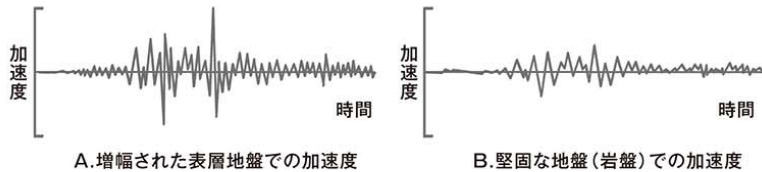
への1ステップ

原子炉の固有の安全性

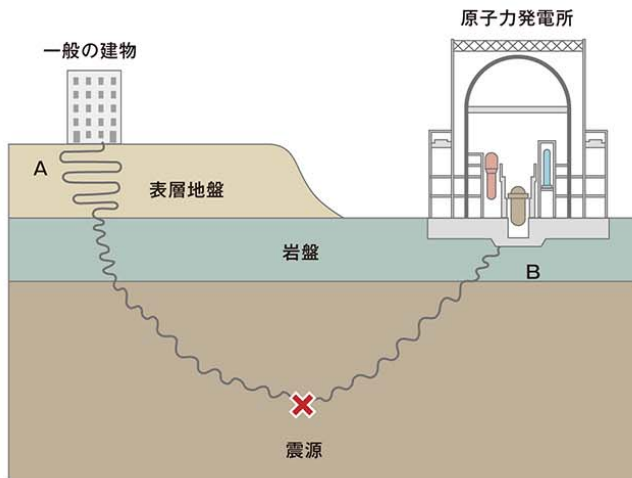
原子力発電所と一般建築物の揺れの差

原子力発電
安全・安心？

堅固な地盤(岩盤)上に設置した原子力発電所と一般の建物の揺れの伝わり方

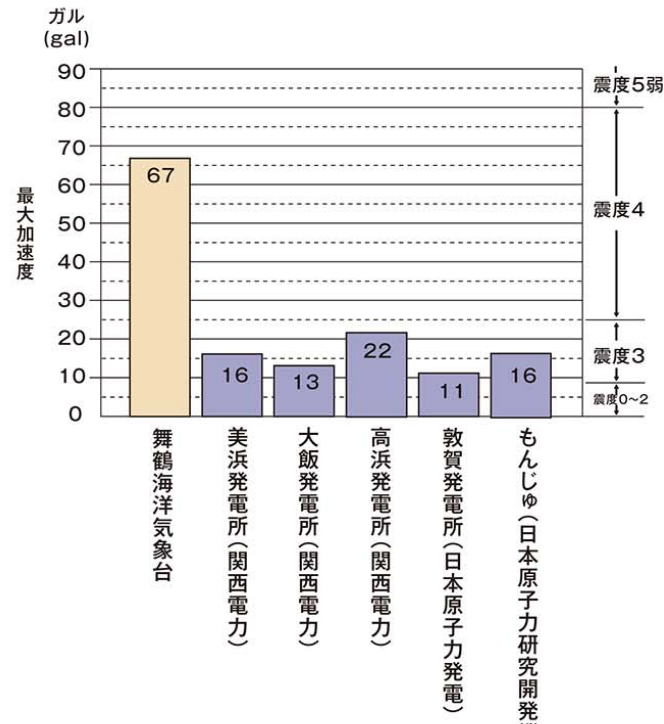


(注) 地震波形は模式図



堅固な地盤(岩盤)での揺れは表層地盤に比べ1/2~1/3程度

1995年兵庫県南部地震による若狭湾周辺の最大加速度観測値



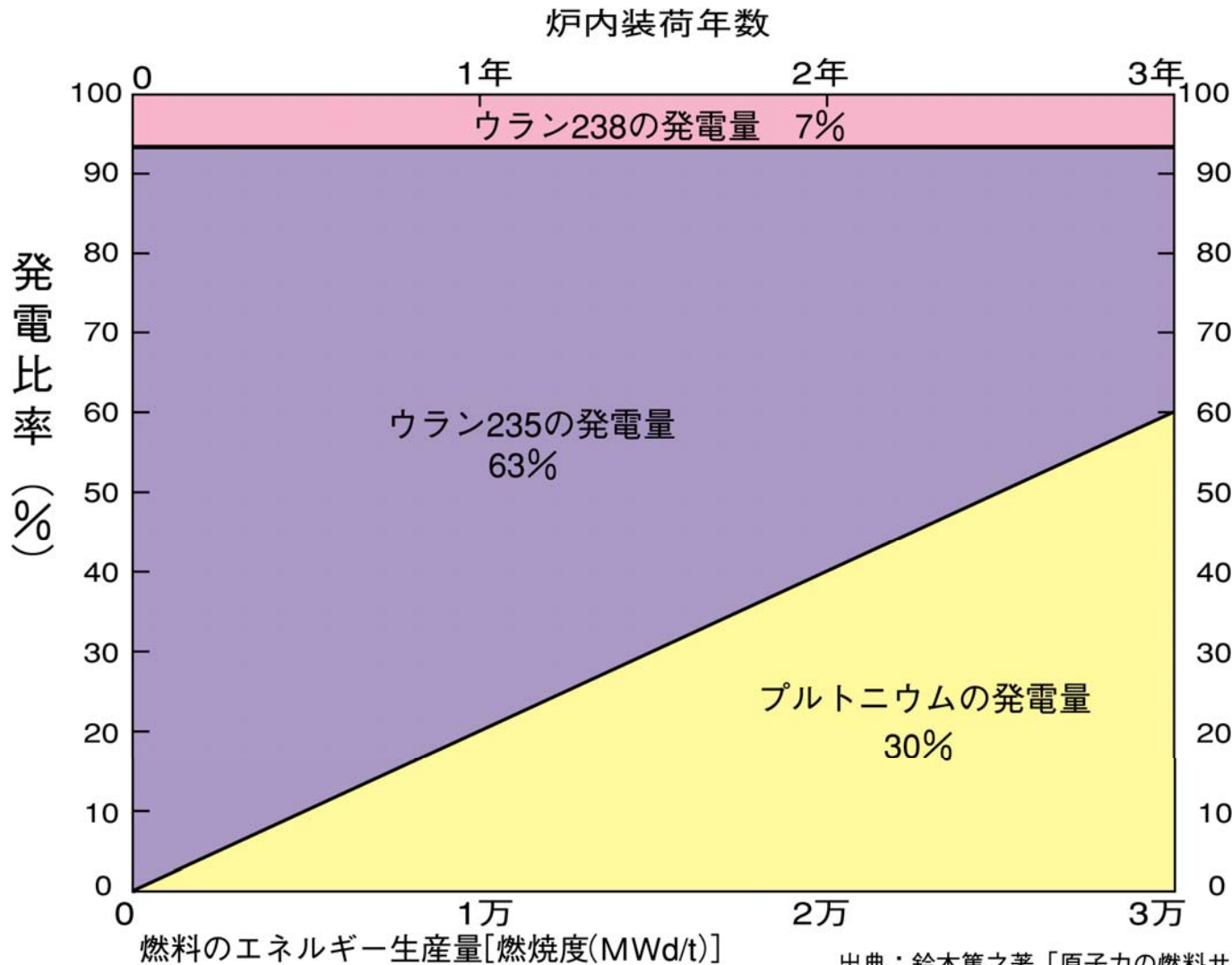
東日本大震災において複数の原子力発電所が被害を被りましたが、心臓部である“原子炉”は全て基本的に健全性を維持することができました(福島第一原発は2次的災害)。つまり、ある意味では、原子炉構造の耐震性が立証されたことになると“私”は考えますが、皆さんはどう考えますか？

化学工場などの爆発事故では多くの方が犠牲になる事がしばしばですが、幸いなことに、この原発事故で“放射能・放射線の被曝”でお亡くなりになられた方はおられません。このことをどう考えますか？

洗面器に水を張って左右に揺らしてみてください。水面は激しく揺れるが洗面器の淵は大して揺れませんが、岩盤は洗面器の淵のようなもので、表層地盤に比べて地震の揺れは1/2~1/5程度です。

キバンフレットより作成

軽水炉内のプルトニウムの発電割合



出典：鈴木篤之著「原子力の燃料サイクル」

濃縮ウラン燃料が軽水炉で燃焼する過程でウラン238も核分裂して発電量の7%に寄与しています。

ウラン238の中性子吸収によって生成したプルトニウム239は核分裂性ですので、ウラン235の燃焼に伴ってプルトニウム239も燃焼に寄与していきます。燃焼末期には約60%にもなり、発電量の約30%を賅っています。

結果的にウラン238が燃料として発電量の1/3以上を担っています。

使用済みウラン燃料 はもはや

使用済みMOX燃料

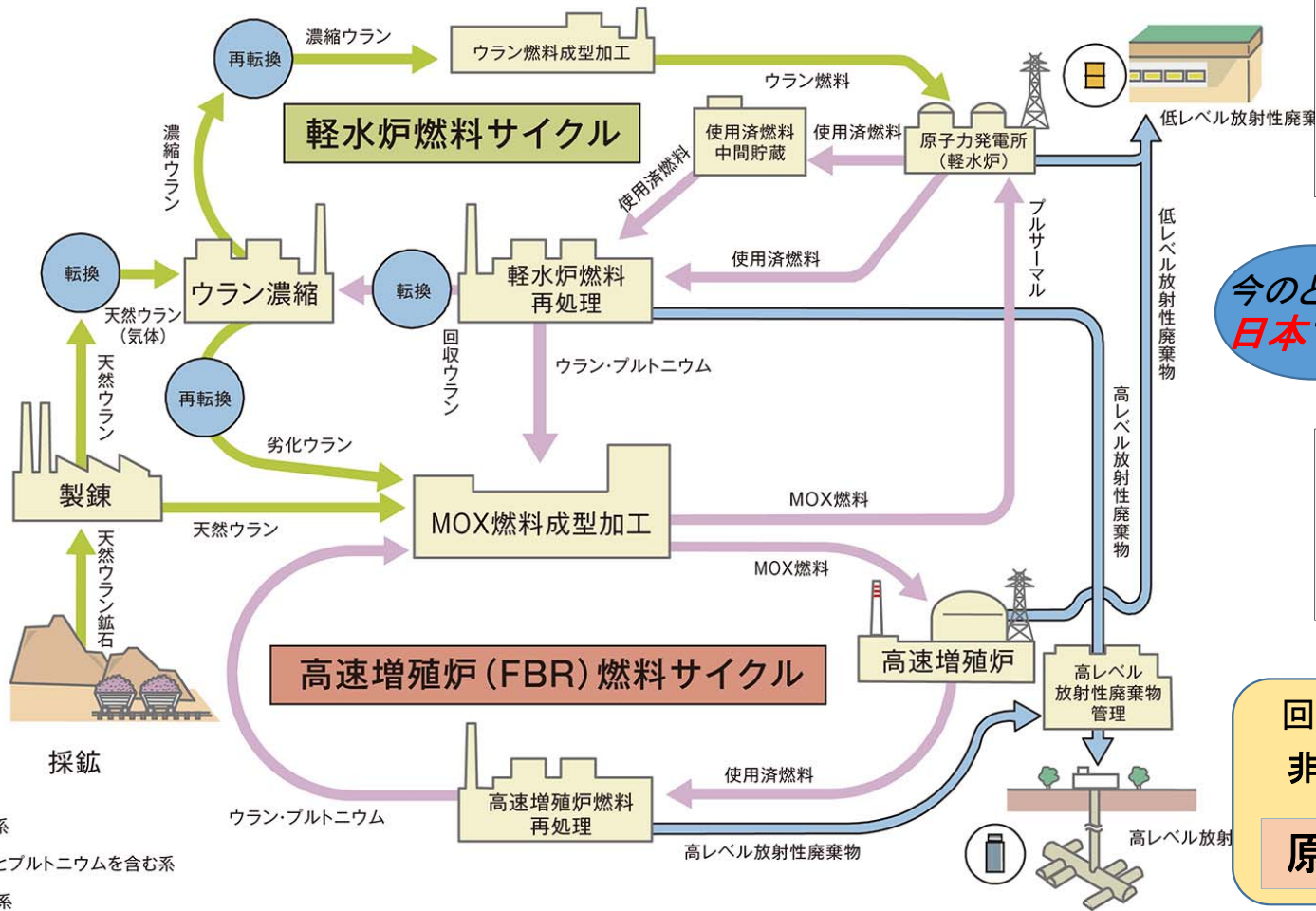
MOX: Mixed OXide fuel

使用済み燃料には未燃焼のウラン235やプルトニウム239が残っています。

再処理

化学的にウランとプルトニウムを回収

核燃料サイクル (FBRを含む)



軽水炉燃料再処理によって回収されたウランとプルトニウムをMOX燃料として高速増殖炉で有効利用

核燃料サイクル

が考えられている。

今のところ
日本では

高速増殖炉開発の頓挫
("もんじゅ"の廃炉)

MOX燃料を熱中性子炉で利用

"プルサーマル"計画

プルトニウム・サーマルリアクター

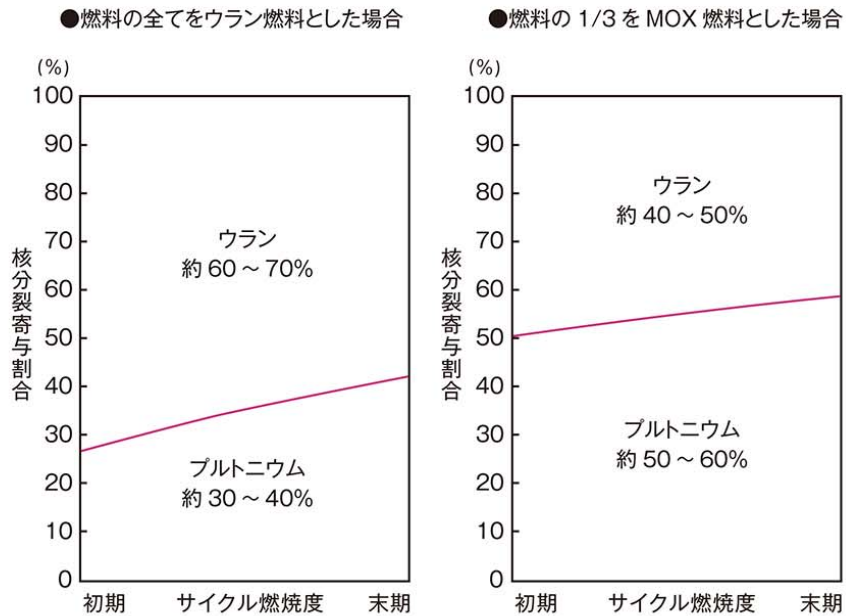
回収プルトニウムはプルトニウム239だけでなく
非核分裂性のプルトニウム240も含有

原爆の爆薬にはなりえない!

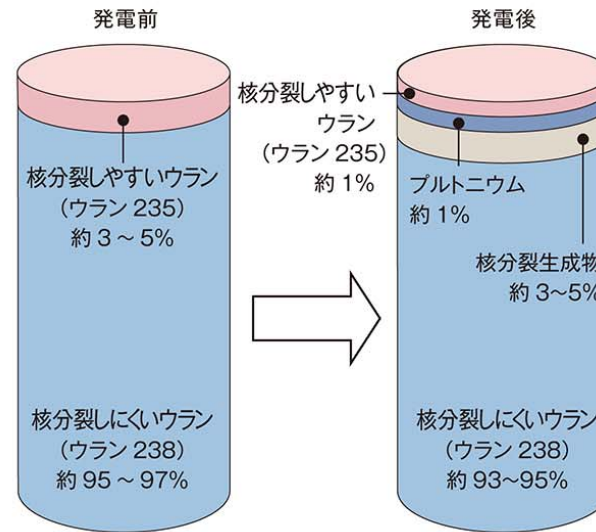
安全? 安心?

軽水炉内でのウラン燃料の燃焼による変化

① 炉心におけるウランとプルトニウム核分裂寄与割合 (BWR平衡炉心の例)



② 発電前後でのウラン燃料の変化 (例)



既存の軽水炉では炉心の1/3程度までMOX燃料を装荷して発電が可能です:

原子炉の安全運転設計条件の範疇にあります。

フルMOX: MOX燃料100%での運転には専用炉が必要

J-Power電源開発 (株)

大間発電所 (建設中)

プルサーマルの目的

- ・余剰プルトニウムの解消
- ・ウラン資源の有効利用

日本で発生する廃棄物の量

	発生廃棄物量(トン/日)		備考
一般廃棄物	主に家庭から排出される生ゴミ、粗大ゴミ およびオフィスから排出される紙くず等	117,057	平成29年度実績
産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、 廃プラスチック、廃酸、廃アルカリ等	1,060,274	
放射性廃棄物	原子力施設の運転、保守等に伴って 発生する放射性的の廃棄物	高レベル 1.4	<p>使用済み燃料再処理の利点</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 高レベル廃棄物地層処分の面積が1/3になる。 ② プルトニウム(長期半減期)を埋めないで、放射能毒性が1/10となる。 ③ 将来の核拡散リスクがない。 ④ ウラン資源の節約になる。 ⑤ 中間貯蔵の必要性がミニマムになる。
		低レベル 44	

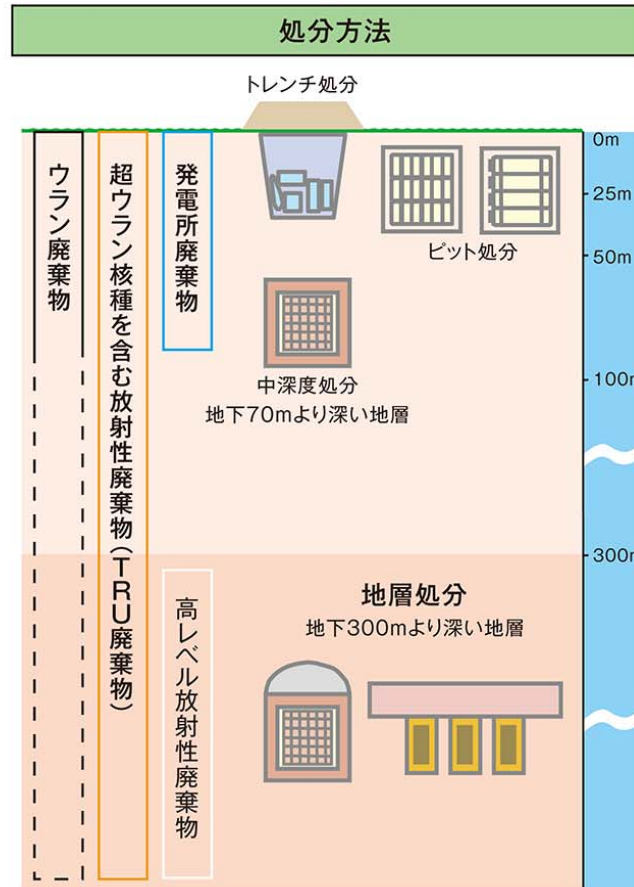
使用済み燃料再処理の利点

- ① 高レベル廃棄物地層処分の面積が1/3になる。
- ② プルトニウム(長期半減期)を埋めないで、放射能毒性が1/10となる。
- ③ 将来の核拡散リスクがない。
- ④ ウラン資源の節約になる。
- ⑤ 中間貯蔵の必要性がミニマムになる。

放射性廃棄物の種類と処分の概要

放射能レベルに応じた深度や障壁(バリア)を選び、トレンチ・ピット処分、中深度処分、地層処分に分けて処分が行われる。

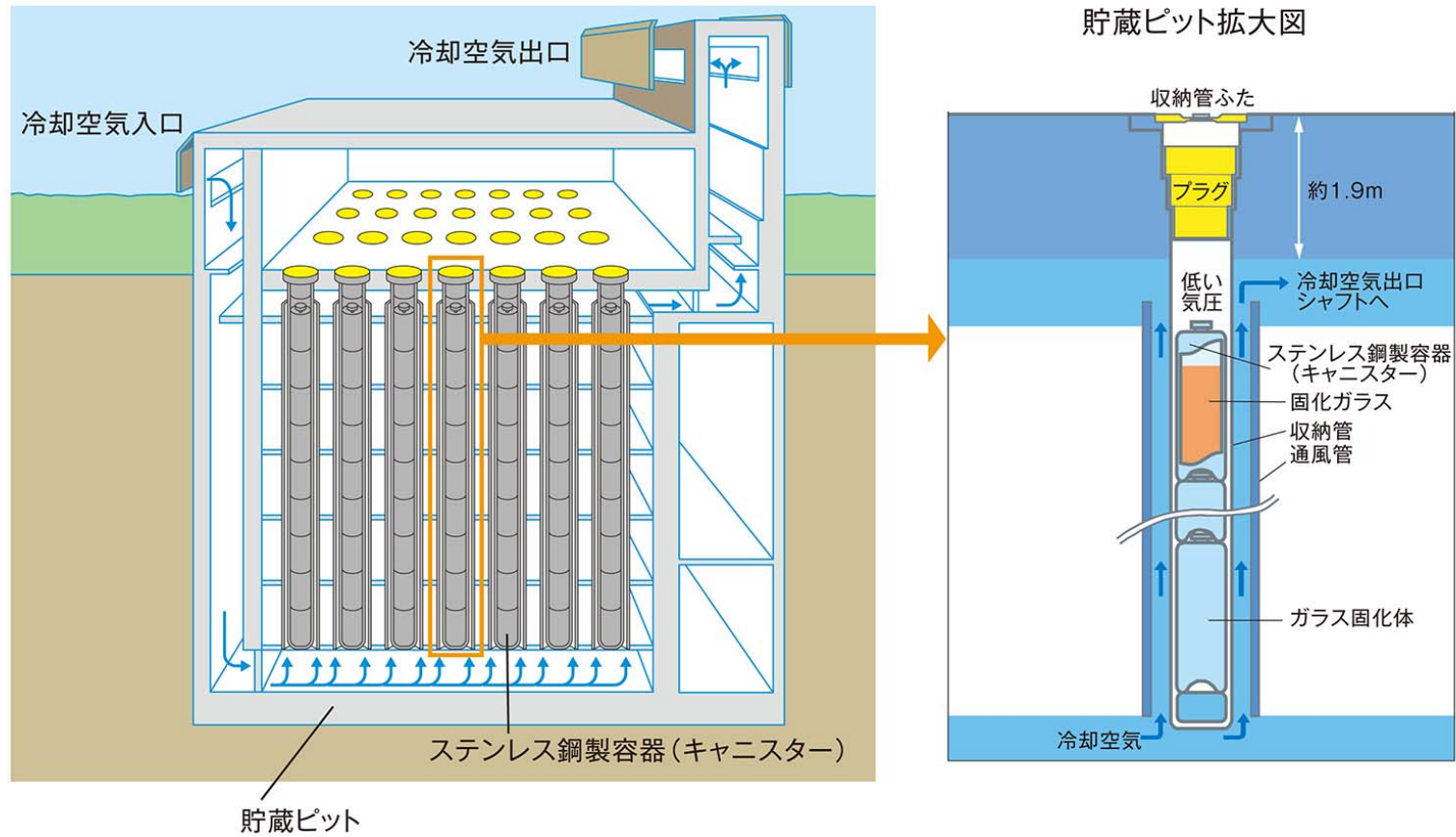
発生源	廃棄物の種類	
原子力発電所	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物
		放射能レベルの比較的低い廃棄物
		放射能レベルの比較的高い廃棄物
ウラン濃縮・燃料加工施設	低レベル放射性廃棄物	ウラン廃棄物
MOX燃料加工施設		超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)
再処理施設	高レベル放射性廃棄物	



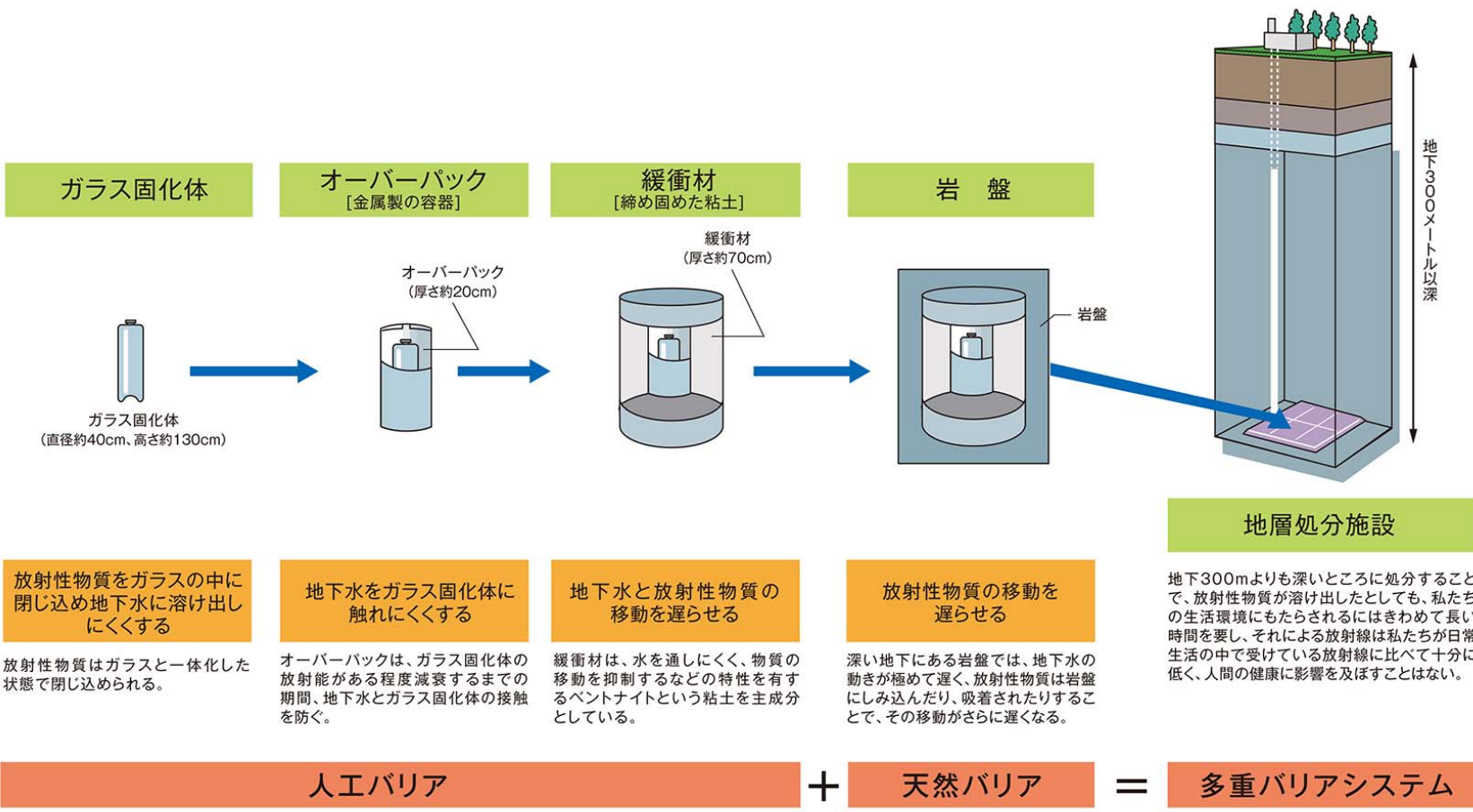
トイレ無きマンション問題は解決できる!?

処分場の候補地調査
 北海道の2町村で「文献調査」を実施中
 玄海町で「文献調査」受入れ

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の貯蔵概念図



高レベル放射性廃棄物多重バリアシステム



高レベル放射性廃棄物多重バリアシステムの漏洩シナリオ

- ① 岩盤地層中の地下水が緩衝材に侵入し、
- ② 金属容器(オーバーパック)に達して容器を腐食させ、ガラス固化体表面に達する。
- ③ ガラス固化体を溶解させつつ溶解性の高レベル核種が溶出する。
- ④ 溶解した放射性核種は浸透水中を拡散移動し、深部岩盤層に達する。
- ⑤ 岩盤中の微細水脈中を拡散移動し、地表に達する。
- ⑥ 地表に達した放射性核種のほとんどは旅程で崩壊し非放射性核種へと核変換している。

なぜ深地下300m以上の岩盤地層か？

科学的根拠は

推算には加速度法による実証実験で得られたデータや遺跡・古墳などからの金属やガラスの出土品の保存状態とその分析結果、地盤地質工学からの地下水移行挙動などのデータが参考にされています。

そして、(20億年前)地球上には天然の大型軽水炉が存在していた！

オクロ天然原子炉

調べてみてください！

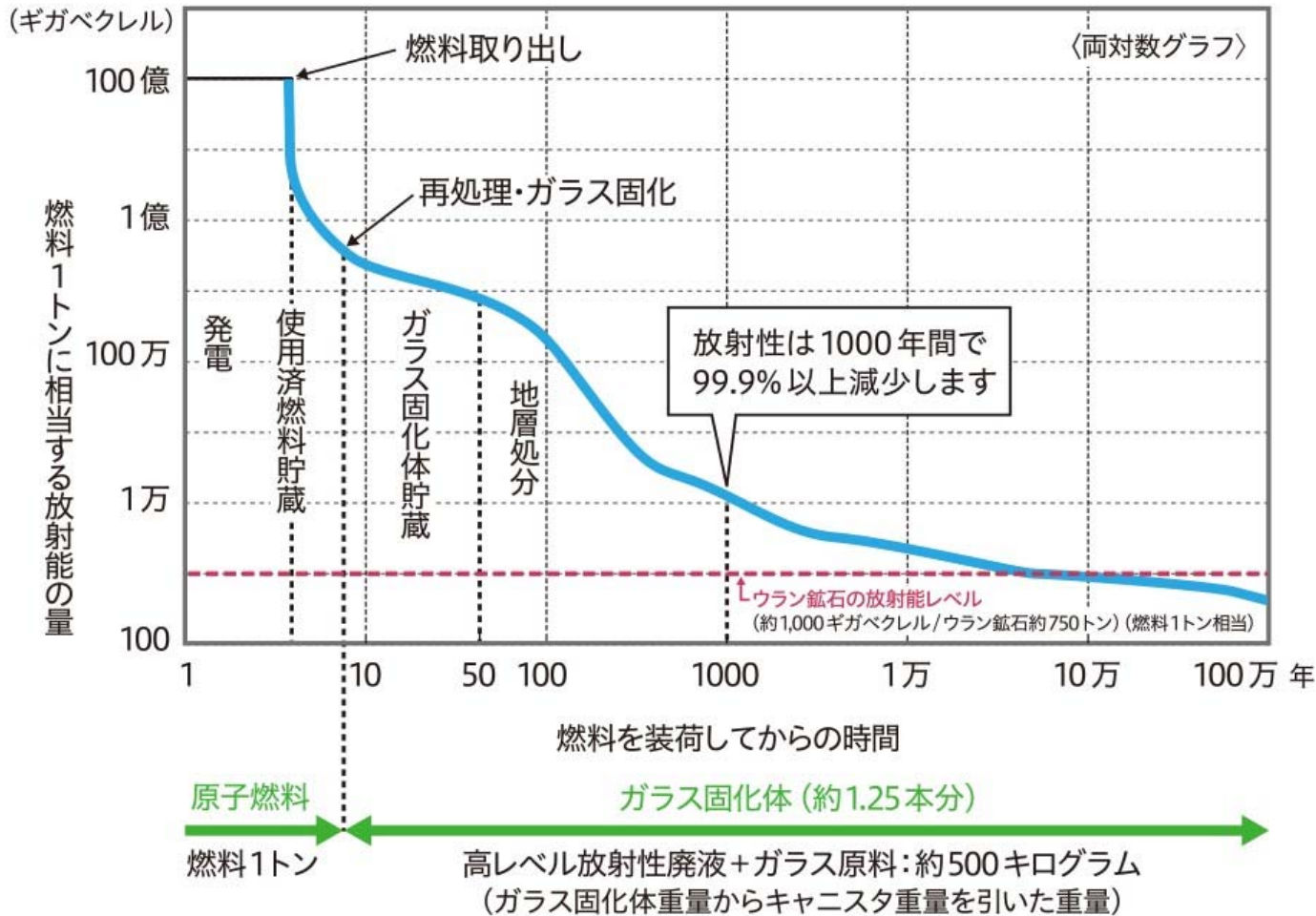
深地下岩盤中の水の移動： 数mm/年

300 m 移動するには約10万年

オーバーパックの腐食速度： 数mm/100年

厚み 20 cmのオーバーパックが腐食されガラス固体表面が暴露されるまで約1万年

ガラス固化体の放射能の経時変化



高レベル放射性廃棄物
ガラス固化体

10万年以上

天然のウラン鉱石の放射能レベル
以下にまで減衰する！

ただし、生態系に取り込まれ易い水溶性
の長寿命核種のFP: ^{129}I ($1.5 \times 10^7\text{y}$)などの
問題が残ります！

安全？
安心？

高レベル廃棄物
処理処分法

福島第一原発の処理水の海洋放出について： 海洋生態系への影響は？

溶融した核燃料等の残損物(デブリ)の冷却などに使われた放射性物質を含む汚染水は、イオン交換や吸着処理によって大部分の放射性核種は除染され“処理水”としてタンクに保管されていますが、2023年春の時点で約137万トンに達していました。水素の放射性同位体の**トリチウム(半減期は12.3年)**はHTOとして処理水中に存在しています。

トリチウムを分離し除染する方法は色々考えられますが“**途轍もないエネルギーを消費**”し、費用対効果が全く期待できない。
また、完全な解決法でもない：**濃縮回収したトリチウム水はどうするのか？**

国の方針は“12年後：2023年8月から**海洋放出**”を始めました

- 事故から12年以上を経ていますので崩壊によって放射能はほぼ半減
- 処理水は放出前に予め海水にて**100倍**以上に希釈：
 国の排水中の基準値の1/40 程度まで
 世界保健機関(WHO)の飲料水水質ガイドラインの1/7 程度まで希釈
- トリチウムの年間放出量を事故前の福島第一原発で設定していた目安以下に

**飲料水の水質基準の1/7以下のトリチウム濃度となった希釈処理水を、
更に莫大な水量の海洋中に分散していくわけですから、
海洋生態系への影響はないものと考えられます。**

**安全？
安心？**

再生可能エネルギーとは自然エネルギー！

自然エネルギーとは太陽エネルギー！

太陽エネルギーとは？

太陽とは ???

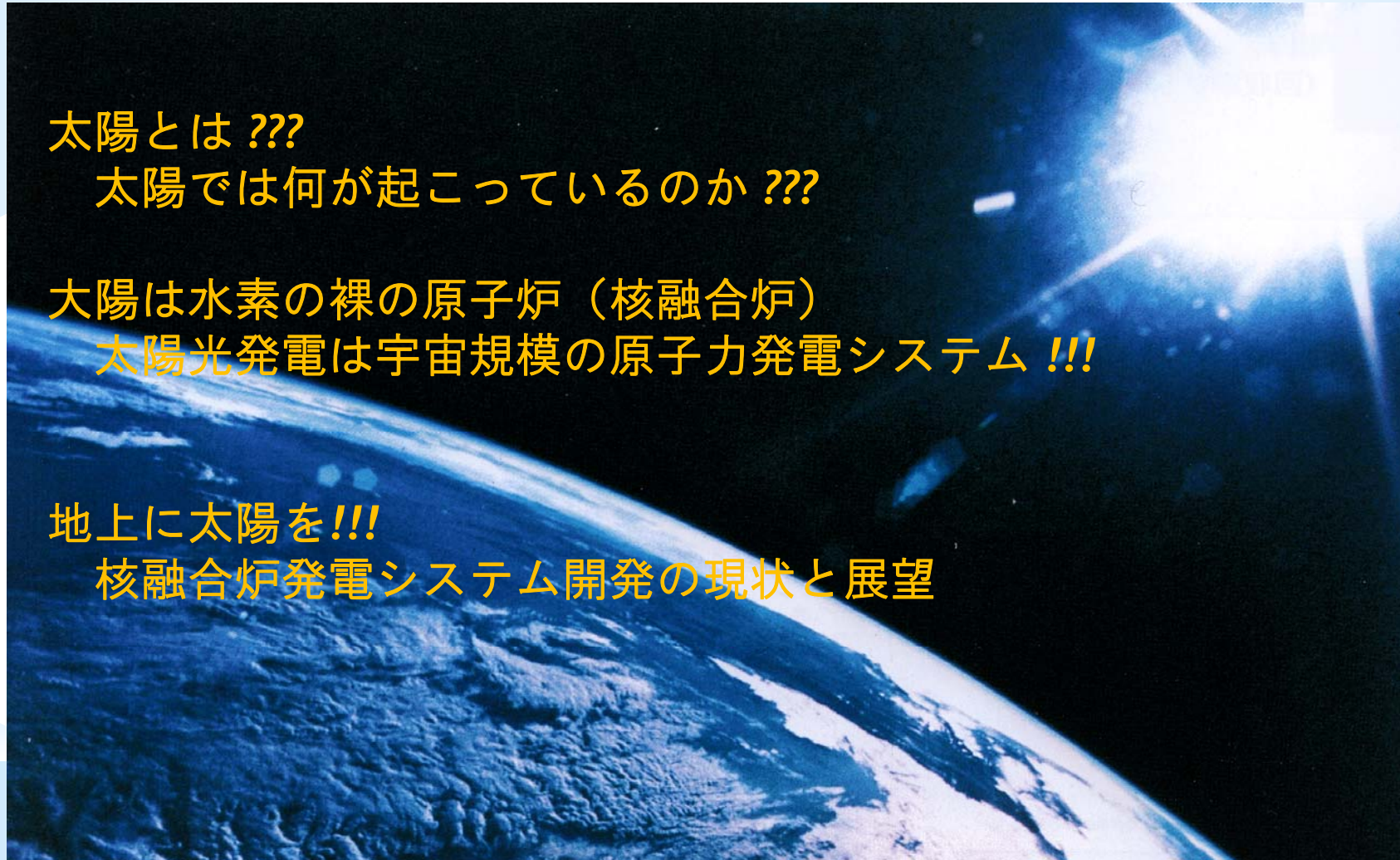
太陽では何が起きているのか ???

太陽は水素の裸の原子炉（核融合炉）

太陽光発電は宇宙規模の原子力発電システム !!!

地上に太陽を!!!

核融合炉発電システム開発の現状と展望



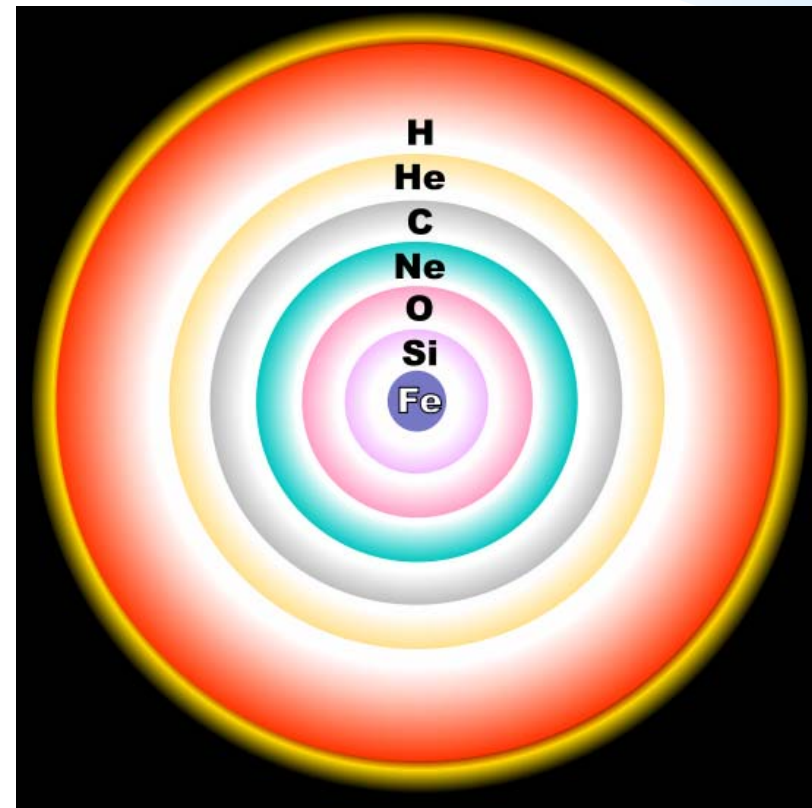
太陽での水素の核融合反応

アインシュタインは、1905年に発表した特殊相対性理論の中で「質量とエネルギーの透過性： $E=mc^2$ 」を見出した。

やや遅れて1938年にウランの核分裂がハーン、シュトラスマンによって発見された。

そして、翌1939年にベータによって恒星のエネルギーが核融合であることが解明された。

太陽の構造

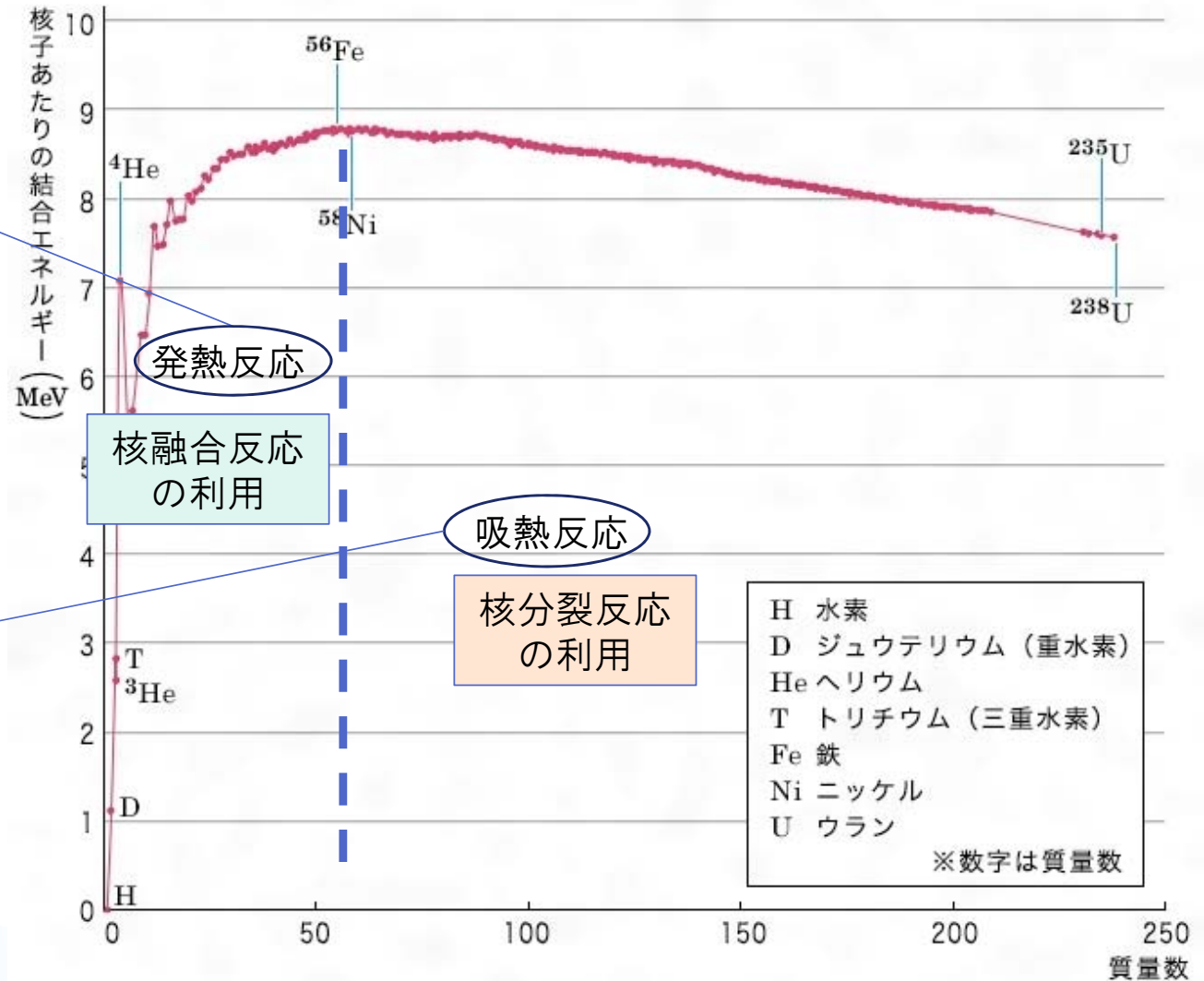


生命を形作る元素は恒星の核融合反応によって生成された!!

生命は「星の欠片」!! 放射能や放射線・紫外線の中で生まれ進化を続けている。

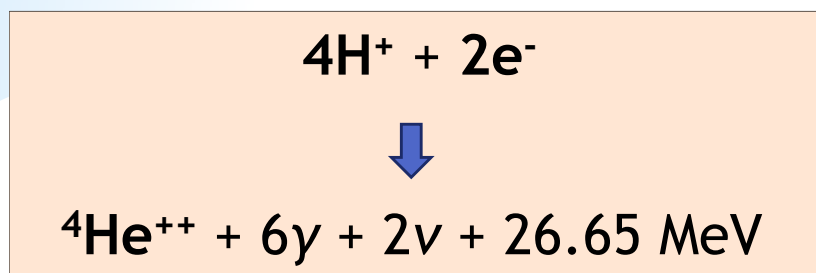
核子の核融合生成によって余剰の結合エネルギーが解放される。

核子の核融合生成のためには結合エネルギーを補う必要がある。超新星爆発などの超高エネルギー発生場において生成される。

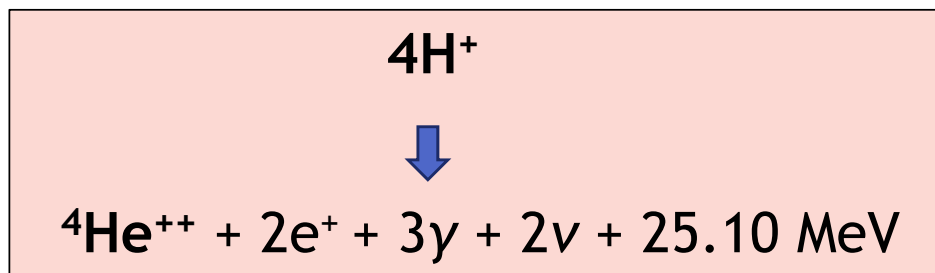


太陽での水素の核融合反応

水素・水素 反応サイクル

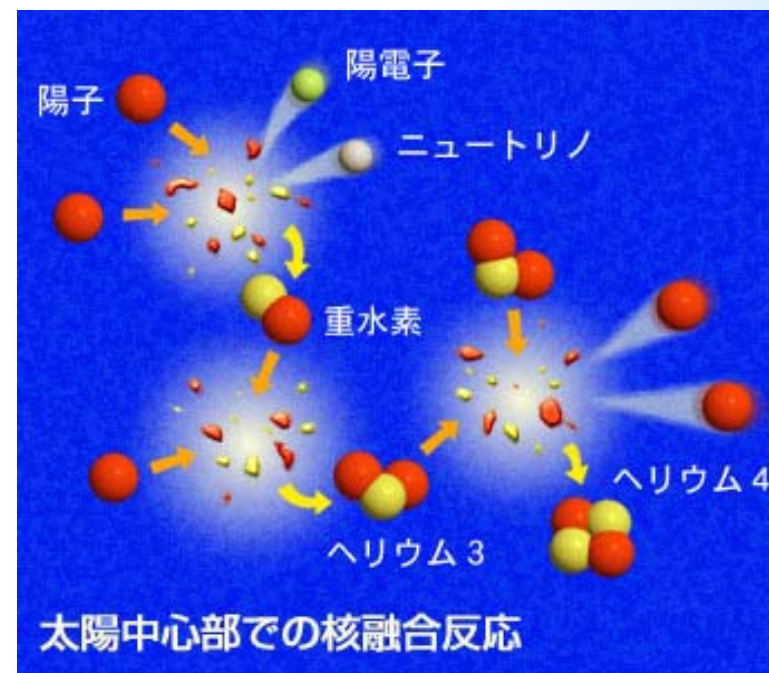


99 %



1 %

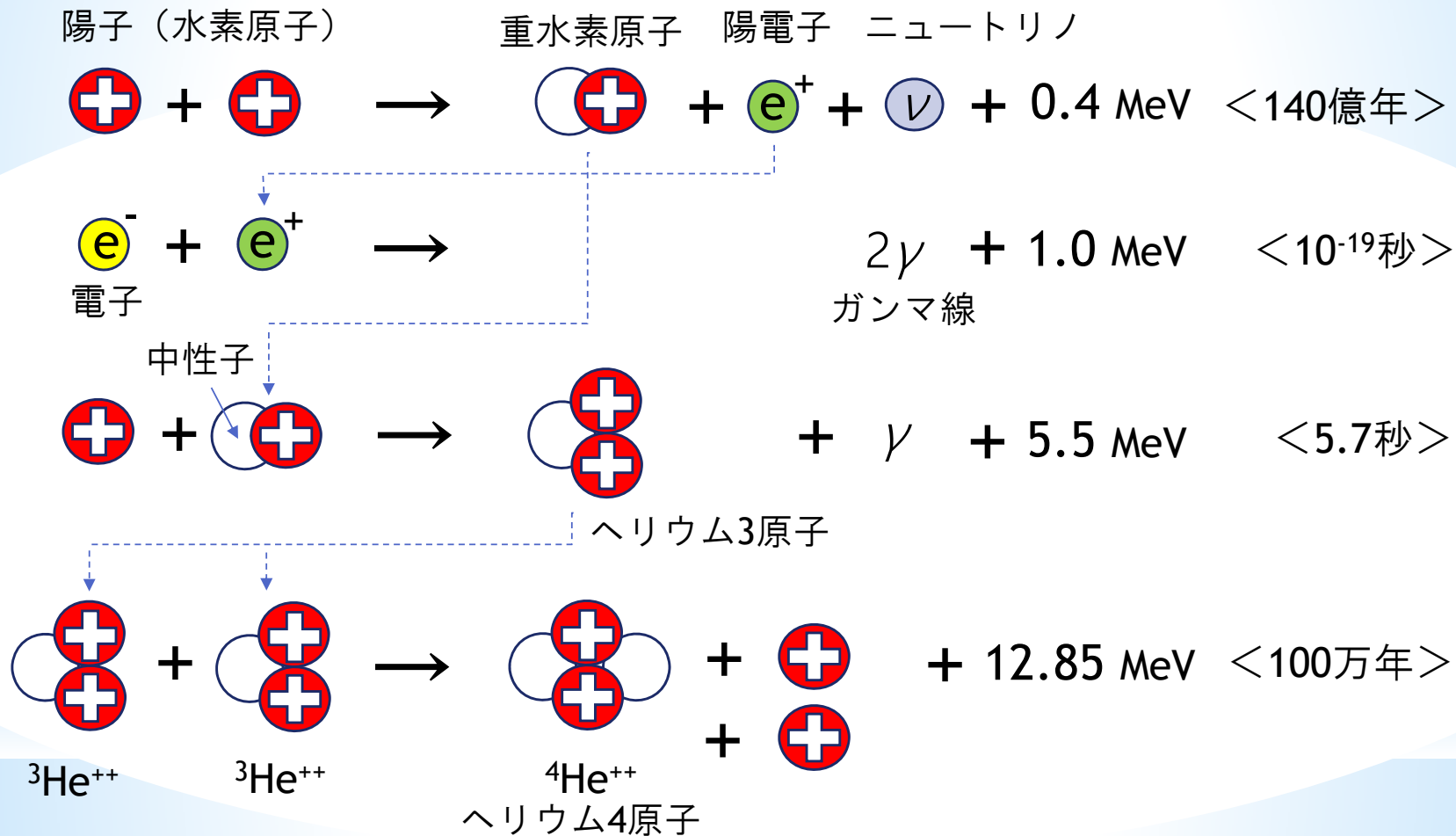
炭素・窒素・酸素 反応サイクル

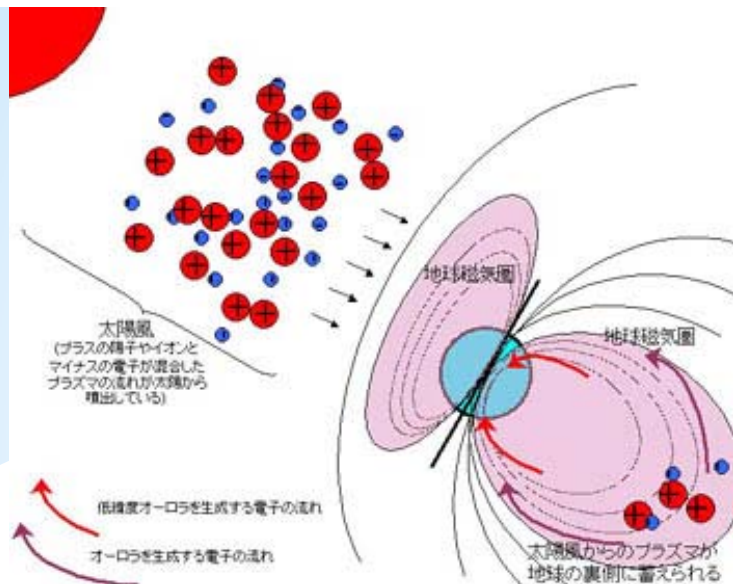


太陽の中心部（半径の30%）
で核融合反応が起こっており

4個の水素原子核（陽子）が
融合して1個のヘリウム原子
核が生まれている。

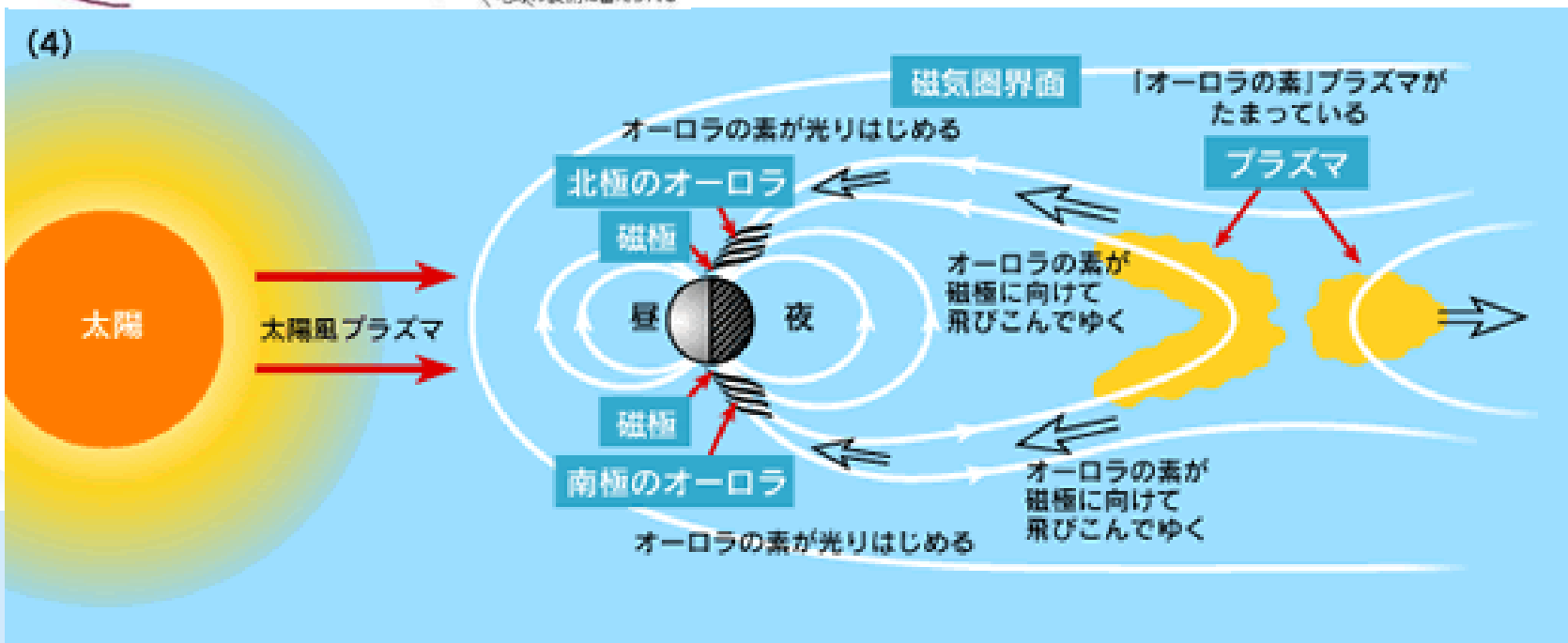
水素-水素 核融合反応サイクル





裸の原子炉である太陽からは、高エネルギーの荷電粒子や放射線が「太陽風」として地球に降り注いでいますが、地球の磁場が傘のようにバリアとなって地表の生態環境を守っています。

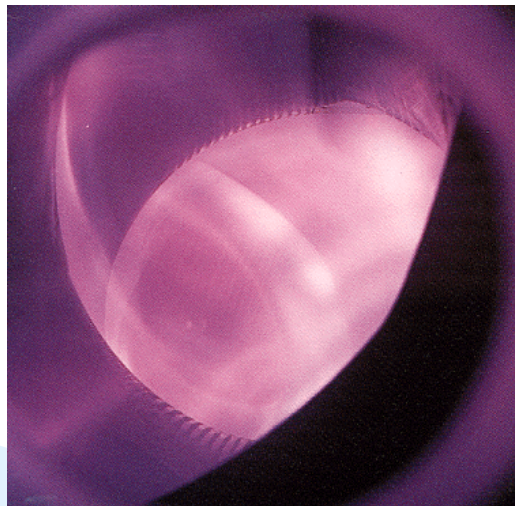
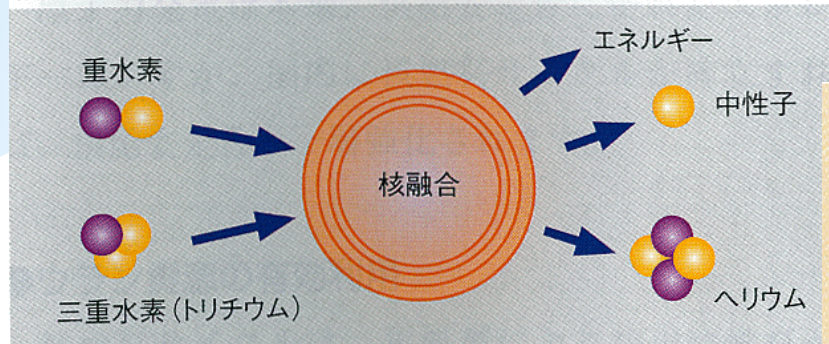
磁極：南極圏と北極圏では太陽風プラズマの荷電粒子が大気中の窒素・酸素分子と衝突して発光する現象：オーロラを発生させます。



地上に太陽を!!!

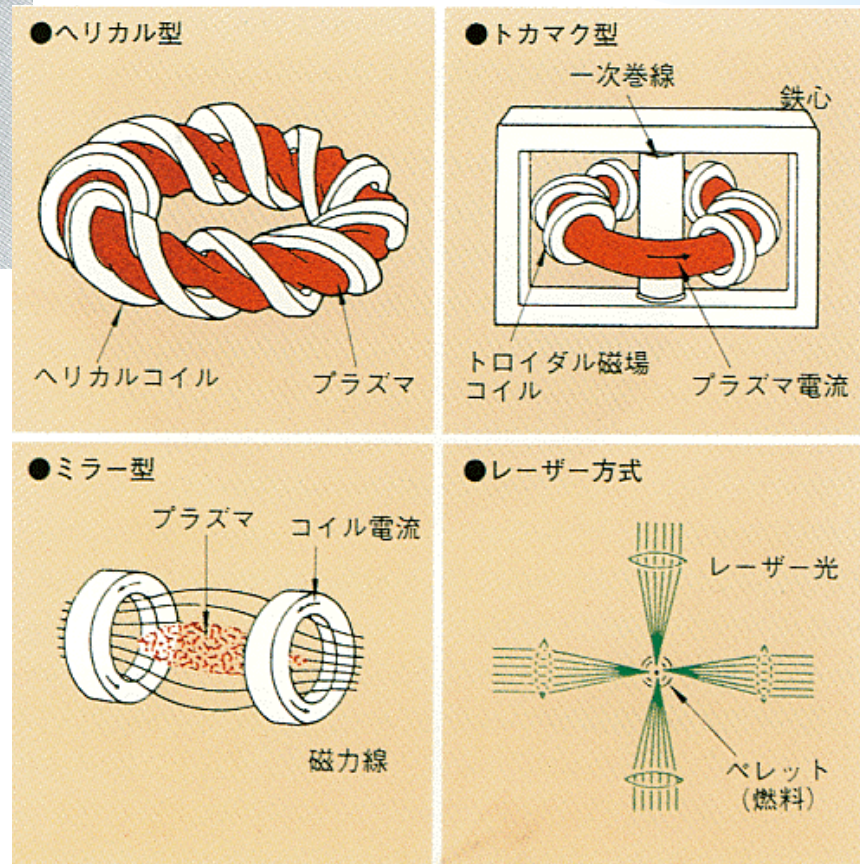
核融合炉発電システム開発の現状と展望

核融合の原理



水素の炉心プラズマ

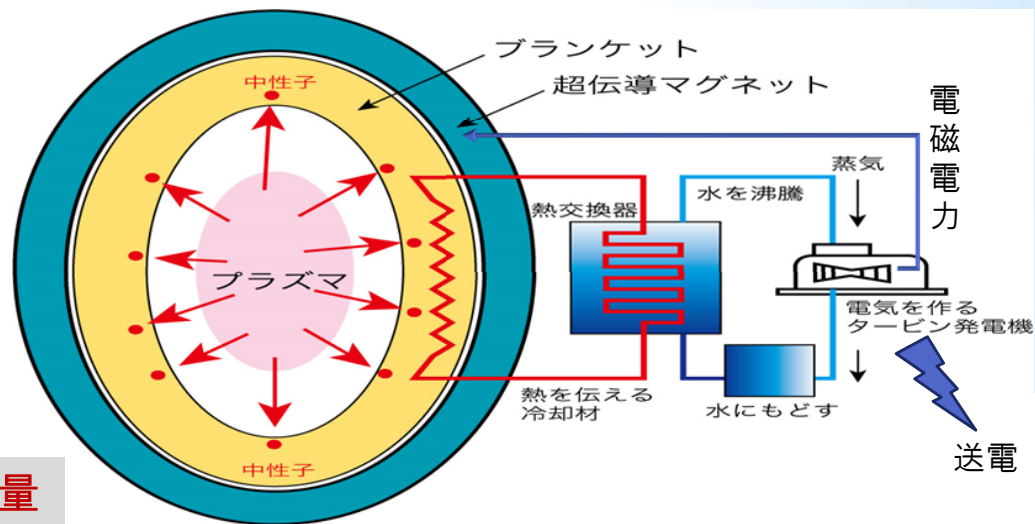
核融合炉心タイプ



核融合炉発電システム

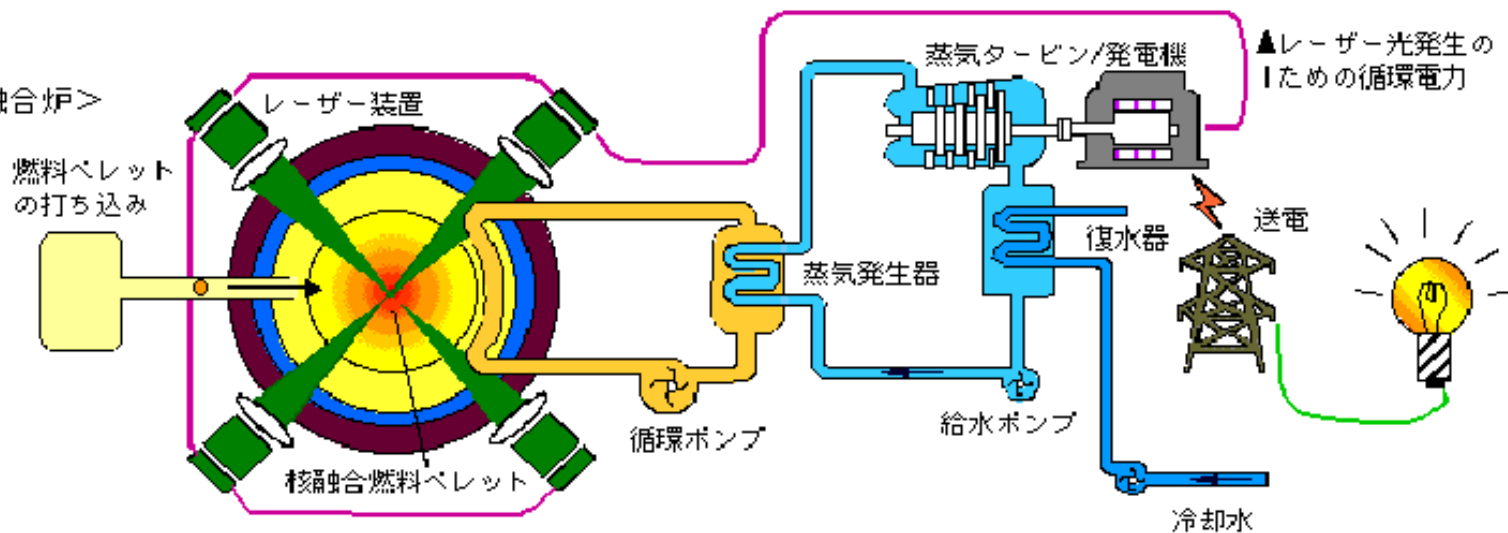
プラズマ閉じ込め方式

レーザー爆縮方式



$$\text{発電利得} = \text{発電量} - \text{投入電力量}$$

<核融合炉>



◎エネルギー増倍率(Q値):

プラズマを定常に維持するのに必要な投入エネルギーに対する核融合反応で生成されるエネルギーの比:

$Q=1$ は燃料プラズマが点火する臨界条件 (Break-even)

$Q>1$ で自己加熱の増大で、 $Q=\infty$ は自己点火条件。

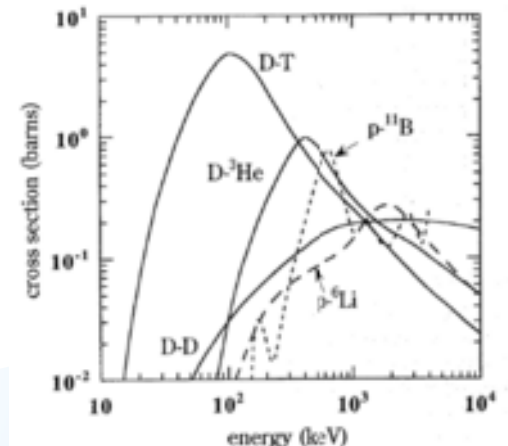
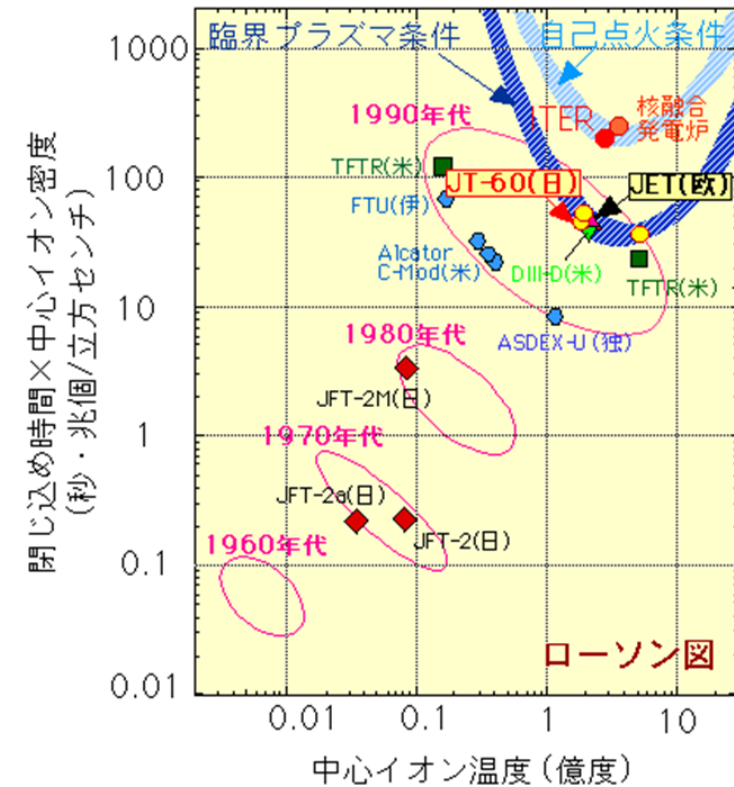
◎ローソン条件:

臨界条件: $Q=1$ での $\langle \text{プラズマ温度} \rangle$ と $\langle \text{プラズマ密度} \times \text{プラズマ維持時間} \rangle$ の関係で示される条件。

磁気閉込め方式 (トカマク、ヘリカルなど) も慣性閉込め方式 (レーザー核融合) もこのローソン条件を超えなければ点火・自己加熱できない。

代表的なローソン条件 (D-T) :

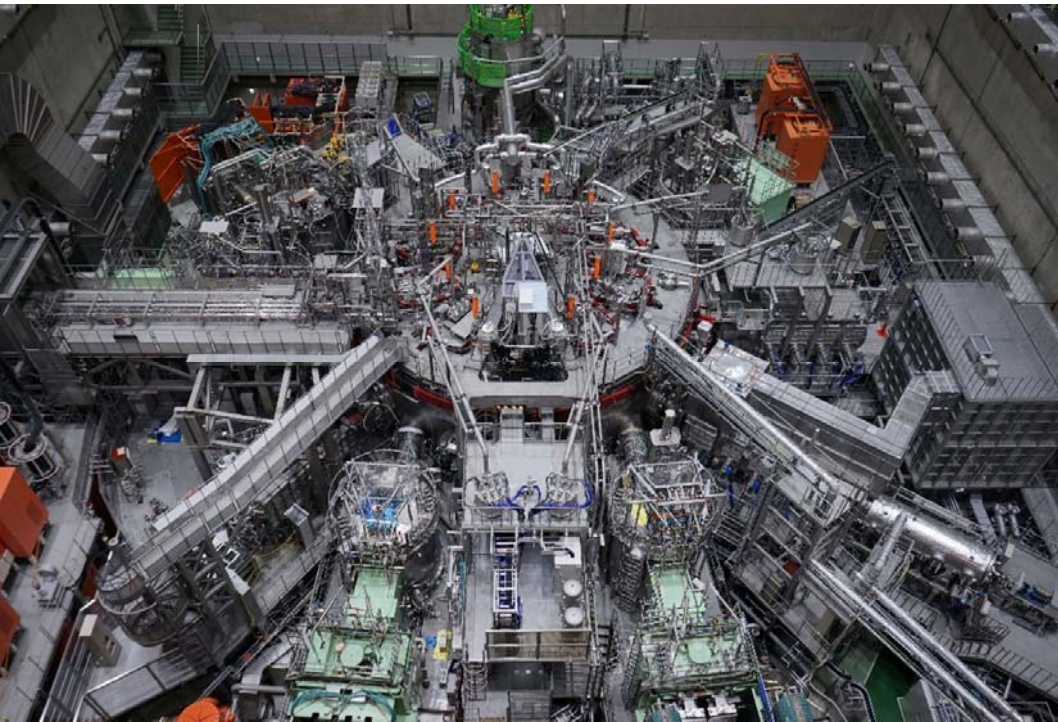
温度 1億°C (約8.6 keV)、密度 10^{14} 個/cm³、閉込め時間 1秒。



レーザー核融合開発トピックス

米国エネルギー省は、**2022年12月5日**にロレンス・リバモア国立研究所（LLNL）の国立点火施設（NIF）で、DTが入った直径数ミリのカプセルターゲットに対して**192本**の強力なレーザーを照射し、投入したレーザーエネルギー：**2.05MJ**に対して**3.15MJ**の核融合反応によるエネルギーが発生したことを**2022年12月13日**に報じた。つまり、**Q=1.54** ローソン条件を超えたということです。ライト兄弟の偉業に匹敵すると報じられました。

しかしながら、燃料ターゲットを固定した状態での実験であること、レーザーを発生させるために**300MJ**の電力を消費したこと、発生した核融合エネルギーを熱効率**50%**以下で発電したと仮定し、**Energy Profit Ratio (EPR)** に置き換えてみると**EPR < 0.0053**です。原子力発電では**EPR = 10~75**なので、少なくとも**EPR > 10**でなければ実用化はまだまだ程遠いでしょう。商業的成立性は経済収支で決まります：**経常収支比率 (Ratio of Current Income to Current Expenses) > 1**でなければなりません。

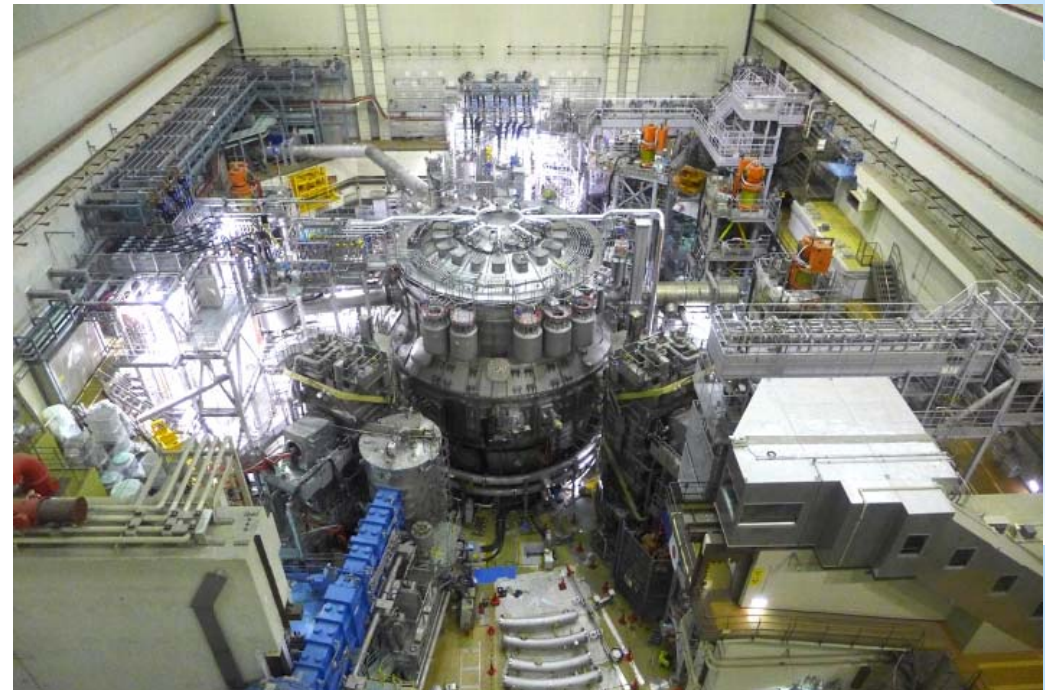


大型ヘリカル実験装置
(Large Helical Device)

自然科学研究機構・
核融合科学研究所
(岐阜県土岐市)

核融合炉の開発研究 の現状

JT60SA (サテライトトカマク)
量子科学技術研究開発機構
那珂ヒュージョン科学技術研究所
(茨城県那珂市)



国際協力の下で
核融合炉開発は
進められている



ITER建設サイト外観写真（2024年10月）写真提供：ITER機構



国際熱核融合実験炉 (ITER)
日本・EU・ロシア・米国・中国・韓国・インドが共同で
フランスに建設中の核融合実験炉
credit: ITER Organization, <http://www.iter.org/>

D-T核融合実験を目指す!!

トカマク型

国際熱核融合実験炉 ITER

International Thermonuclear Experimental Reactor

(科学的実現性)

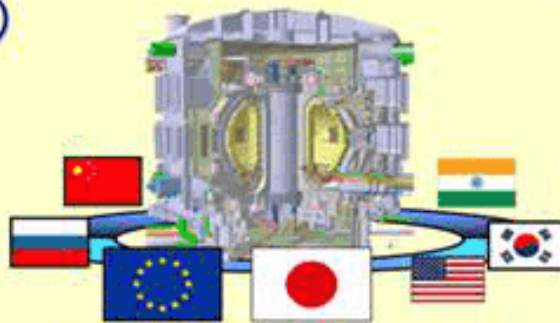
(科学的・技術的実現性)

(技術的実証・
経済的実現性)

実用化

ITER計画(実験炉)

- ・50万kWの核融合エネルギー出力
- ・持続的な核融合燃焼の実証



原型炉



- ・発電
- ・経済性見通し

超高温プラズマ の実現

臨界プラズマ 試験装置(JT-60)



- ・世界最高イオン温度
5.2億度

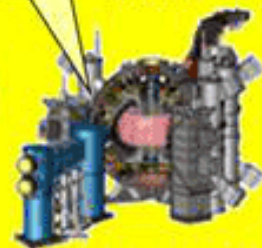
幅広いアプローチ(BA)活動

- ・原型炉に向けた技術基盤の構築
- ・ITER運転シナリオの検討 等

小さな装置
で高出力
化を追求

【茨城那珂】

【青森 六ヶ所】



サテライトトカマク
(JT-60の超伝導化)



国際核融合エネルギー研究センター

ITERを支援する

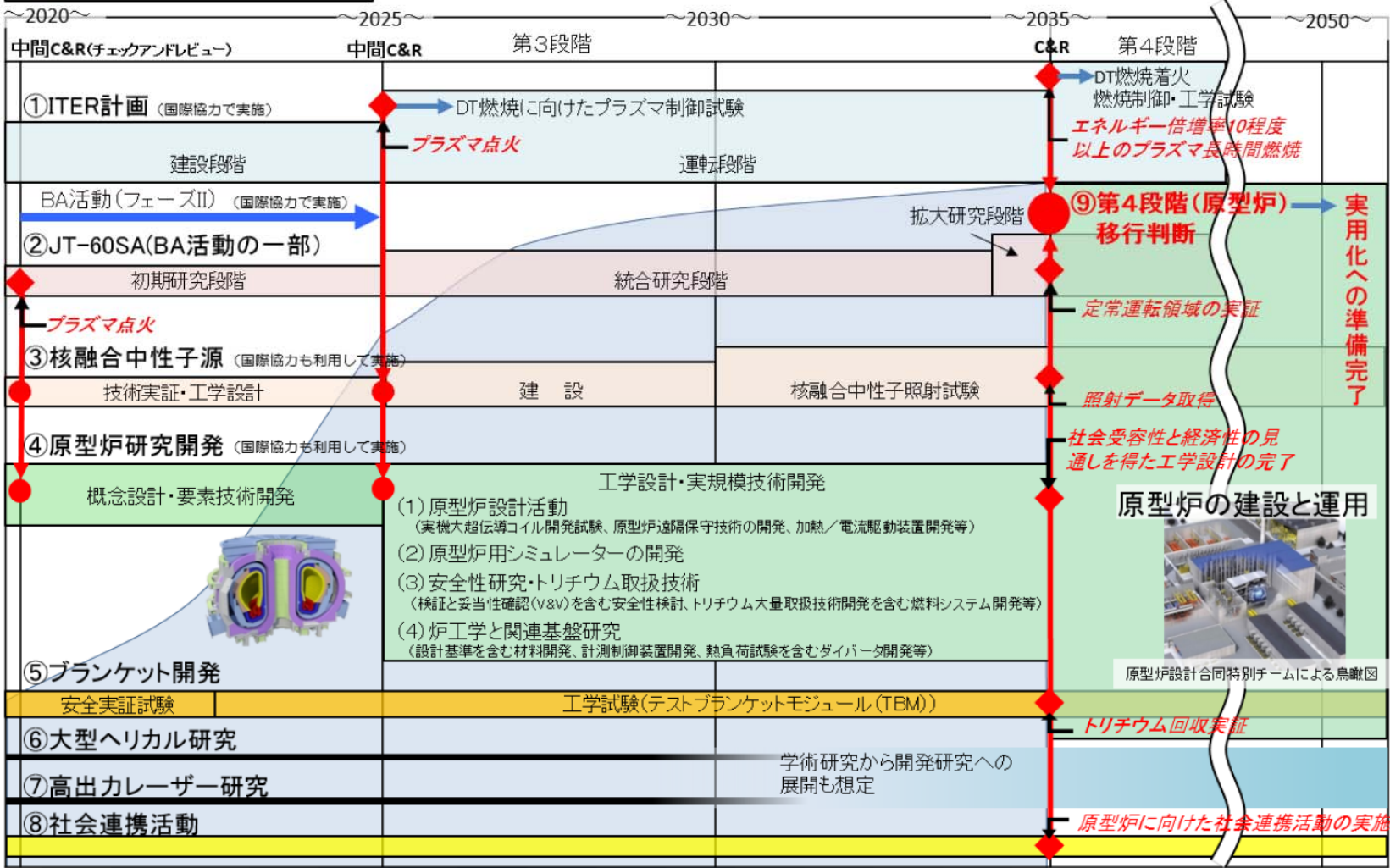
ITERでできない
ことを補う

原型炉に必要な先進
的な材料開発やシ
ミュレーション研究・
開発等を実施

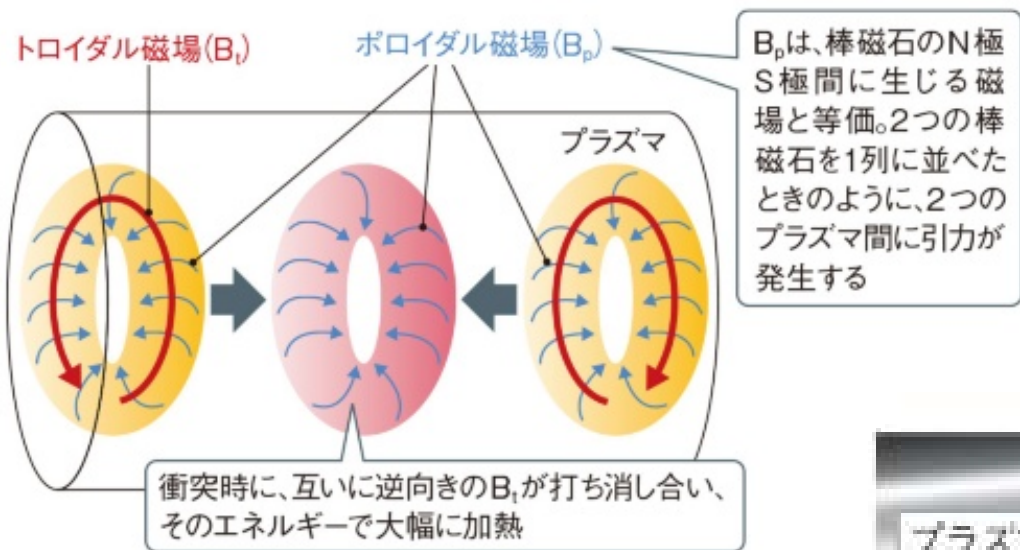
原型炉研究開発ロードマップ

別紙

凡 例
 ◆ 目標達成が求められる時点
 ▲ 達成すべき目標
 ● 次段階への移行判断が求められる時点
 ▭ ロードマップ遂行に必要なアクティビティの指標



(a) プラズマと磁場のドーナツ状の渦 (FRC) 2つを高速でぶつける



第3の核融合炉発電

磁場反転配位型プラズマ方式：

FRC (Field Reversed Configuration)

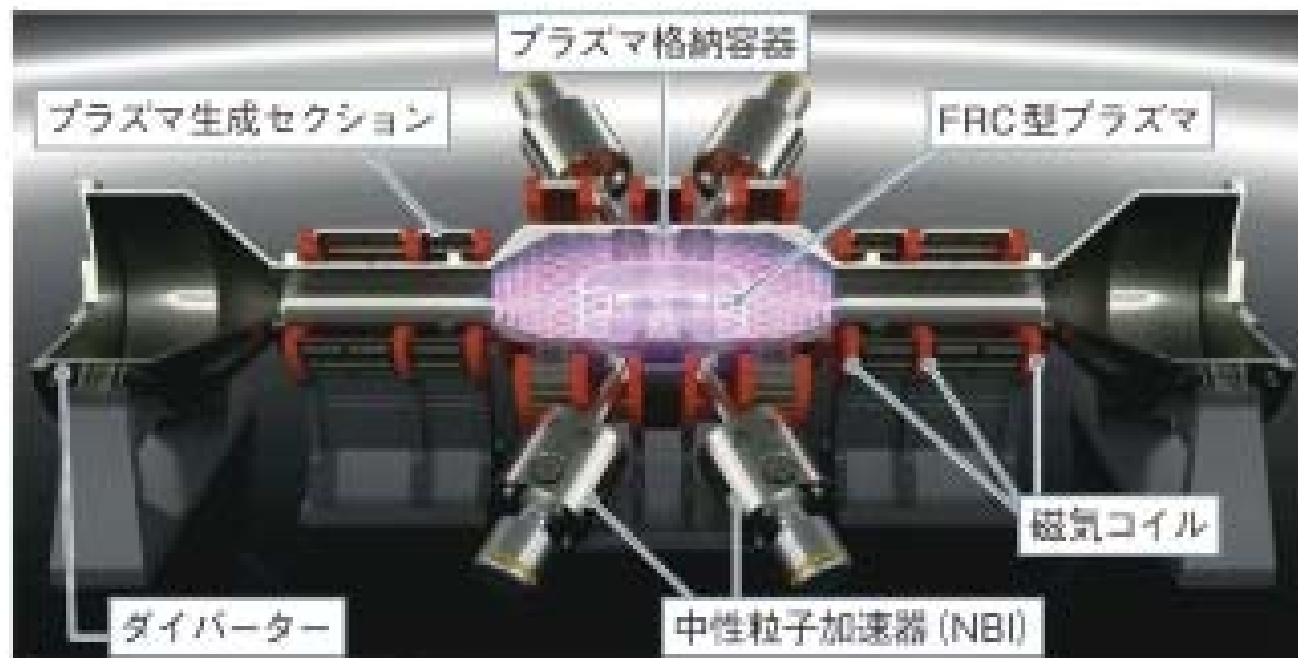
米国2大核融合発電ベンチャー企業：

◎TAE Technologies 社

◎Helion Energy 社

Microsoft社と2028年までに電力を供給する契約を結んでいる。

2024年にも発電開始！ ???



FRC : Field-Reversed Configuration NBI : Neutral Beam Injection

FCR：磁場反転配位型核融合炉の特徴

◎トカマク式などに比較してプラズマをコンパクトにできる。
または弱い磁場で強い閉じ込めが可能

理論上はトカマク式よりずっと高温のプラズマも可能



^3He は
どうするの？
どこから？

◎ D- ^3He 反応： $\text{D}+^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He}(\alpha)+p$
◎ H- ^{11}B 反応： $p+^{11}\text{B} \rightarrow 3^4\text{He}(3\alpha)$

お月様に
たくさん
あるそうなの！

- 核融合反応で中性子が出ない。
- 炉壁材料に制約が少なく、放射化もし難いため炉の構造を簡素化できる。
- トリチウムなどの放射性物質を使用しないので安全で操作がしやすい。
- プラズマや生成粒子による電磁誘導で発電できる。

核融合と宇宙開発

核融合炉発電の実用化への課題・展望

- DT核融合反応が持続的に起こるために必要なプラズマの温度・密度・閉込め時間に関する条件：**ローソン条件**を十分達成できる炉心装置の開発・達成 !!!
(代表的なローソン条件：温度1億度以上、密度100兆個/cm³以上、閉込め時間1秒以上など)
- 高温で高密度高エネルギー中性子照射に十分耐えられる炉材料の開発・獲得 !!!
- 燃料である三重水素（トリチウム）の生産技術と管理処理技術の開発・達成 !!!
- トリチウム環境放射能汚染安全対策技術の開発・達成 !!!

地球環境に優しく経済的に成立する
発電システムを完成させるには？

核分裂炉発電で培われる原子力関連技術が基盤であり
既存の軽水炉発電技術の更なる進展とそのノウハウの
蓄積が核融合炉開発に不可欠である！

終わりに



- 孫やひ孫の時代も豊で平和な世の中であるには、地球の環境を守り、恒久的にエネルギー資源を活用していかなければなりません！
- 限りある貴重な化石資源は、大切に有効に利用していかなければなりません！
- 気候変動・温暖化などの地球環境問題を解決するには、水力・太陽光・風力などの自然エネルギーそして原子力など、非化石燃料を利用するしかありません：*脱炭素化！*
- *我国の“脱炭素化に向けた電源構成”を考えると“原子力”は「切り札」と考えられています！*
- *原子力を「安心」して利用するには「安全」が不可欠：安全性向上の油断なき追及が必須！
「安全」を知らなければ「真の安心」も得られません！*
- *“原子炉の固有の安全性”や“高レベル廃棄物処分法の安全設計”など、
原子力発電の「安全」な仕組みを正しく理解しておく必要があります！*